

Elektrotechnik und Maschinenbau

ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN
VERBANDES FÜR ELEKTROTECHNIK
CHRIFTELEITER: H. SEQUENZ UND F. SMOLA, WIEN SPRINGER-VERLAG, WIEN

3. Jahrgang

Wien, 15. Juni 1961

Heft 12, Seite 393—416



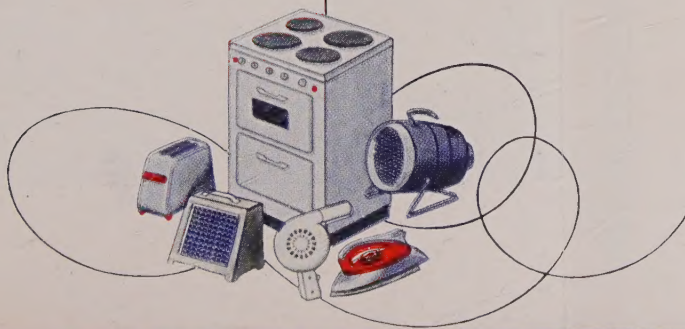
Alles hängt an einem Draht

Das Herz der Elektrowärme
KANTHAL und NIKROTHAL



Heizleiterlegierungen der
AKTIEBOLAGET KANTHAL
HALLSTAHAMMAR · SCHWEDEN

Wien VIII, Wickenburggasse 4, Telefon 42 46 39

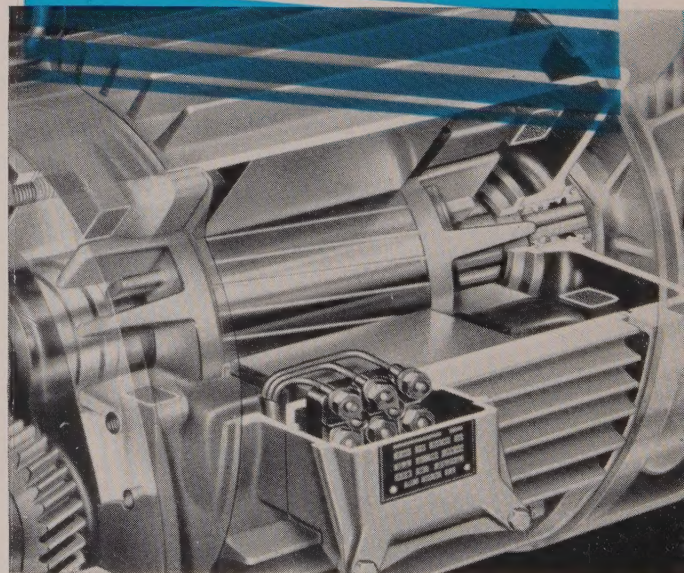
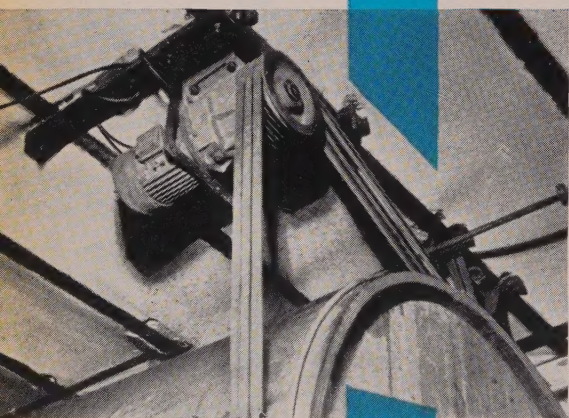


BAUER *Getriebe-Motoren*

haben **STROMVERDRÄNGUNGSLÄUFER** mit Tief- oder Doppelnuten, die den Motoren hohe Betriebssicherheit bei großem Anzugsmoment und geringem Anlaufstrom geben.

Der Läufer ist mit hoher Genauigkeit dynamisch ausgewuchtet. Seine langen Flügel sorgen für eine zusätzliche Belüftung. An die verlängerte Läuferwelle kann eine Rücklaufsperrung oder Federdruckbremse angebaut werden.

Beim Antrieb von Gerbfässern, Becherwerken, Schneckenförderern, Kollergängen, Rührwerken, Knet-, Misch- und vielen anderen langsam laufenden Maschinen und Apparaten aller Art kommen die Vorteile der BAUER-Getriebe-Motoren voll zur Geltung.



**BAUER ELEKTRO-ANTRIEBE
GESELLSCHAFT MBH. SALZBURG**

Die Leistungsreserven der Verbundsysteme und Wege zu ihrer Ausnutzung

Teil I. Die unbelastete Kraftwerksleistung

Von A. KROMS, Malden, Mass., USA

DK 621.311.161

Die Energieversorgung wird von zwei Umständen beeinflusst: elektrische Energie kann in großem Umfang nicht aufgespeichert werden und die Errichtung der Energieanlagen erfordert sehr große Kapitalkaufwendungen. Dies veranlaßt alle Maßnahmen zu erwägen, wie die Kapazität der Kraftanlagen möglichst vollständig auszunutzen ist. Obgleich die Energiewirtschaft in dieser Richtung schon beachtenswerte Ergebnisse erzielt hat, sind in den Energieversorgungszentren noch erhebliche unausgenutzte Leistungsreserven vorhanden. Zur Beurteilung wie diese Reserven zweckmäßig auszulasten sind, müssen zwei Fragen geklärt werden:

1. die Größe und der Charakter der überschüssigen Leistung in den Verbundsystemen verschiedener Leistungsstruktur;

2. die energetischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen zur erfolgreichen Einsetzung der zeitweilig freien Leistung.

1) Einführung

Die Ausnutzung der Energieanlagen wird vom zeitlichen Verlauf der Energienachfrage bestimmt, weshalb ihre wirtschaftlichen Ergebnisse von dem Lastregime in hohem Maße abhängig sind. Die Energieversorgung umfaßt eine Kette von Energieanlagen von den Energiequellen bis zu den Verbrauchern; sie enthält Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und zum Verbrauch der Energie. Diese Anlagen sollen so ausgelegt und betrieben werden, daß die besten Ergebnisse der Energiewirtschaft erreicht werden. Dies kann erzielt werden, wenn jedes Element des Energiesystems dauernd nach seinem besten Betriebsregime arbeitet. Hierbei müssen die Forderungen der Leistungs- und Energiebilanz erfüllt werden:

1. Das Verbundsystem muß seine höchste verfügbare Leistung während der Höchstlastperioden entwickeln, wodurch die installierbare Leistung auf einem möglichst niedrigen Stand gehalten wird [1].

2. Außerhalb der Höchstlastperiode muß das Verbundsystem mit seiner Bestlast arbeiten, was zu gutem Wirkungsgrad und zu niedrigsten Betriebskosten führt.

3. Das Verbundsystem muß die naturbedingt anfallenden Energiequellen in vollem Maße verwerten.

Diese Forderungen können nur in einem beschränkten Maße erfüllt werden, weshalb jedes Verbundsystem zeitweilig über erhebliche Reserven an unausgenützter Leistung verfügt. Deshalb versucht man Wege zu finden, wie die vorhandenen Energieanlagen vollständiger auszulasten und die großen Kapitalinvestitionen wirkungsvoller auszunutzen sind.

2) Der Ausnutzungsfaktor und die unbelastete Leistung

Der Ausnutzungsfaktor der installierten Leistung ist

$$n = \frac{A}{N_n \cdot T} = \frac{A}{r S_0 \cdot T} = \frac{m}{r},$$

wobei A (kWh) die Energieausbeute während der Zeitperiode T , N_n (kW) die installierte Leistung, S_0 (kW) die Höchstlast, $r = N_n/S_0$ den Reservefaktor und $m = \frac{A}{S_0 T}$ den Belastungsfaktor der Kraftanlagen bedeuten.

Die installierte Leistung muß die auftretende Höchstlast S_0 decken und die benötigte Reserveleistung N_r bereitstellen:

$$N_n = S_0 + N_r = r \cdot S_0.$$

Die Leistungsreserve setzt sich wie folgt zusammen [2]:

$$N_r = N_{rs} + N_{rk} + N_{rr},$$

wobei N_{rs} die Stör-, N_{rk} die Ausgleichs- und N_{rr} die Reparaturreserve bedeuten. Dabei ersetzt N_{rs} die Leistungsausfälle aus den Betriebsstörungen, N_{rk} — aus einem niedrigen Energiedargebot der abhängigen Kraftwerke (Wasserkraftwerke u.a.) und N_{rr} aus der Stilllegung der Energieaggregate zur planmäßigen Überholung.

Der Ausnutzungsfaktor der installierten Leistung wird durch folgende Faktoren bestimmt:

1. den Lastverlauf während der Tagesstunden und im Laufe des Jahres;

2. die Schwankungen der verfügbaren Kraftwerksleistung;

3. die Betriebssicherheit der Energieerzeugungs- und Übertragungsanlagen.

Der Lastverlauf bestimmt den Belastungsfaktor $m = A/S_0 \cdot T$, welcher von der Struktur der Energieabnehmer, dem Klima, den Lebensgewohnheiten u.a. beeinflusst wird. Der Charakter der Energieabnehmer hängt auch von den Möglichkeiten des Energiebezugs ab; so können reichliche Energiequellen (Wasserkraft usw.) zur Entwicklung energieintensiver Industrien viel beitragen.

Die verfügbare Leistung der abhängigen Kraftwerke (Wasser- und Heizkraftwerke) verändert sich je nach dem naturbedingten Energiedargebot ihrer Energiequellen, den Speichermöglichkeiten des Energieträgers und dem Lastregime [3], [4]. Zur Ersetzung ihres zeitweiligen Leistungsrückgangs muß im Verbundsystem eine besondere Ausgleichsleistung (N_{rk}) bereit-

gehalten werden; ihre Größe hängt davon ab, wie stark das Energiedargebot von der Lastkurve abweicht.

Die Leistung der Störreserve wird je nach dem Bereitschaftsfaktor der Energieanlagen und dem zu erzielbaren Sicherheitsgrad der Energielieferung ausgewählt. Dabei muß die zeitweilig freie Ausgleichleistung berücksichtigt werden, weil sie in den Jahresperioden, wenn sie unbelastet ist, auch die Aufgaben der Stör- und Reparaturreserve übernehmen kann. Dadurch kann oft eine besondere Reparaturreserve völlig entbehrt werden.

Wenn das Verbundsystem abhängige Kraftwerke enthält, dann ist die mögliche Jahresarbeit $A_0 < N_n T$, weil die Energieausbeute der abhängigen Kraftwerke von dem schwankenden Energieanfall ihrer Energiequellen, z.B. Wassermangel, beschränkt wird. Der Grenzwert des Ausnutzungsfaktors beträgt dann

$$n_0 = \frac{A_0}{N_n \cdot T},$$

wobei A_0 die tatsächliche Kapazität des Verbundsystems darstellt (Abb. 1). Die Ausnutzung dieser Kapazität wird mit dem Faktor

$$k = \frac{A}{A_0} = \frac{n}{n_0}$$

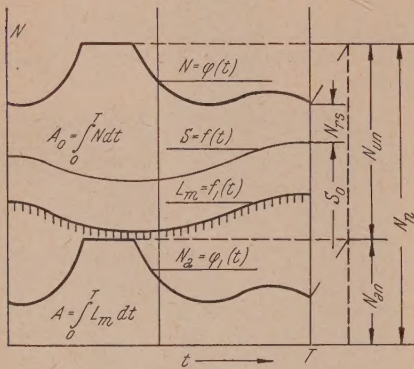


Abb. 1. Ausnutzung der veränderlichen verfügbaren Leistung

N_a und N_{an} die verfügbare und installierte abhängige Leistung
 N_{un} die installierte unabhängige Leistung
 N und N_n die verfügbare und installierte Gesamtleistung
 S Tageslastspitze, S_0 Jahreshöchstlast, N_{rs} Störreserve, L_m mittlere Last, A und A_0 die tatsächliche und potentielle Jahresarbeit

ausgedrückt. In den Verbundsystemen, die nur unabhängige Kraftwerke enthalten, könnte im Idealfalle $A_0 = N_n \cdot T$ erreicht werden, wenn der Betrieb ohne Störfälle und Stilllegungen zur Überholung erfolgen würde; dann wäre $n_0 \approx 1,0$ und $k = n$. Da aber in den meisten Verbundsystemen abhängige Kraftwerke vorhanden sind, ist in der Regel $A_0 < N_n \cdot T$, woraus $n_0 < 1,0$ und $k = n/n_0 > n$. Dann geben die n -Werte keine Einsicht in die tatsächlichen Reserven an freier Leistung und die Möglichkeiten zusätzliche Energiemengen zu erzeugen.

Der Faktor n_0 hängt von der Leistungsstruktur des Verbundsystems und der Verfügbarkeit der abhängigen Kraftwerke ab [5]. Bezeichnet man mit N_m die mittlere verfügbare Leistung und L_m die mittlere Belastung, dann ist der mögliche Höchstwert des Ausnutzungsfaktors

$$n_0 = \frac{N_m}{N_n} = \frac{N_{am} + N_{un}}{N_n} = \frac{\gamma N_{an} + (N_n - N_{an})}{N_n},$$

wobei die Indexe „a“ und „u“ sich auf die abhängigen und unabhängigen Kraftwerke (Wasser- und Wärmekraftwerke) beziehen und $\gamma = N_{am}/N_{an}$ die mittlere jährliche Verfügbarkeit der abhängigen Leistung ausdrückt. Bezeichnet man den Anteil der abhängigen Kraftwerke an der installierten Gesamtleistung $X_a = N_{an}/N_n$, dann ergibt sich

$$n_0 = \gamma X_a + (1 - X_a) \approx 1 - X_a(1 - \gamma).$$

In Grenzfällen erhält man daraus:

$$\begin{aligned} \text{bei } \gamma \approx 1,0 \text{ wird } n_0 &= 1,0 \\ \gamma = 0 \text{ wird } n_0 &= 1 - X_a. \end{aligned}$$

Ähnlich kann der tatsächliche Ausnutzungsfaktor ermittelt werden:

$$n = \frac{L_m}{N_n} = \frac{L_{am} + L_{um}}{N_n}.$$

Wenn die Energiedarbietung der abhängigen Kraftwerke vollständig ausgenutzt wird, dann ist $L_{am} = N_{am} = \gamma N_{an}$, woraus

$$\begin{aligned} n &= \frac{\gamma N_{an} + n_u N_{un}}{N_n} = \frac{\gamma N_{an} + n_u (N_n - N_{an})}{N_n} = \\ &= \gamma X_a + n_u (1 - X_a), \end{aligned}$$

wobei n_u der Ausnutzungsfaktor der Wärmekraftwerke ist.

Ferner

$$k = \frac{n}{n_0} = \frac{\gamma X_a + n_u (1 - X_a)}{\gamma X_a + (1 - X_a)} = \frac{\gamma + n_u c}{\gamma + c},$$

wobei $c = \frac{1 - X_a}{X_a}$.

Bei einem Anteil der abhängigen Kraftwerke $X_a = 0,5$ und bei ihrer Verfügbarkeit $\gamma = 0,6$, ergibt sich $c = 1,0$, wobei die Grenzwerte: bei

$$n_u = 1,0, k = 1,0$$

$$n_u = 0, k = 0,37 \text{ liegen.}$$

Der Ausnutzungsfaktor der Verbundsysteme kann mittels verschiedener Maßnahmen verbessert werden:

1. durch zweckmäßige Auswahl und Auslegung der Kraftwerke;
2. durch richtige Lastverteilung zwischen den einzelnen Kraftwerksgruppen;

3. durch Regelung der Energienachfrage, besonders durch Förderung von Energieabnehmern, welche die freie Leistung zweckmäßig aufnehmen können.

Im idealen Fall sollte die Jahreskurve der Tageshöchstlast mit der Kurve der verfügbaren Kraftwerksleistung zusammenfallen, d.h. die verfügbare Leistung müßte während der Spitzenstunden vollständig belastet werden. Als Störreserve könnten besondere Energieverbraucher dienen, welche im Falle der Betriebsstörung vom Verbundnetz zeitweilig abgeschaltet wurden. Wenn das Verbundsystem imstande ist, seine volle Leistung während der Starklastperioden zu entwickeln, dann wird seine installierte Leistung auf dem niedrigsten Stand gehalten. Die Tageslastkurven sollten so verlaufen, daß die naturbedingt anfallenden Energiequellen vollständig ausgenutzt würden und die unabhängigen Kraftwerke außerhalb der Spitzenstunden mit ihrer Bestlast arbeiten könnten.

Wenn die erwähnten Forderungen erfüllt werden könnten, dann besäße das Verbundsystem keine unbelastete verfügbare Leistung, außer der in Betriebsbereitschaft stehenden Störreserve. Ein solcher Lastzustand kann aber infolge der Lastschwankungen und der naturbedingten Veränderungen der verfügbaren Kraftwerksleistung nicht erreicht werden. In den Verbundsystemen ist deshalb eine veränderliche unbelastete Leistung vorhanden, welche in die normalen Lastdiagramme nicht hineingefügt werden kann. Diese Leistungsreserven können durch Regelung des Energieangebots von abhängigen Kraftwerken oder durch Lenkung des Energiebedarfs mehr oder weniger ausgelastet werden. Die größten Bemühungen sind bisher auf die Regelung der Energieerzeugung gerichtet worden. Dadurch werden aber nur Teilerfolge erzielt, weil die Beeinflussung des Energieabsatzes noch größere Möglichkeiten bietet. Zur Regelung des Lastverlaufs sind die energieintensiven Industrien besonders geeignet. Diese anpassungsfähigen Energieverbraucher erlauben es, die kostspieligen Energieerzeugungsanlagen besser auszunutzen, indem sie die Unterschiede zwischen den Kurven der Last und der verfügbaren Leistung vermindern.

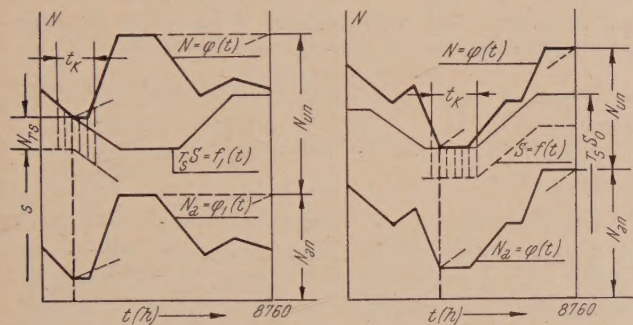


Abb. 2. Die höchstgespannte oder kritische Leistungsbilanz
 t_k die Jahresperiode der kritischen Bilanz (in Winter- oder Sommerperiode) r_s Reservefaktor der Störreserve

Die verfügbare Leistung des Verbundsystems N soll in jeder Jahresaison die Tagesspitze S decken und eine ausreichende Störreserve N_{rs} gewährleisten:

$$N \geq S + N_{rs} = r_s S,$$

wobei $r_s = 1 + N_{rs}/S$ den Reservefaktor der Störreserve bezeichnet. Die Leistungsbilanz, in welcher die Leistungsreserve ihren Kleinstwert erreicht, wird höchstgespannte oder kritische Bilanz genannt (Abb. 2). In den Verbundsystemen, in welchen abhängige Kraftwerke (Wasserkraftwerke) enthalten sind, kann die höchstgespannte Leistungsbilanz in verschiedenen Jahreszeiten eintreten; sie entsteht in der Jahresperiode, wenn die verfügbare Leistung der abhängigen Kraftwerke stark zurückgegangen ist. Die Jahreskurve der Tagesspitzen $S = f(t)$ muß dann mit der Kurve der verfügbaren Kraftwerksleistung $N = \varphi(t)$ verglichen werden, wobei die Leistungsbilanz sich wie folgt zusammensetzt:

$$N = N_a + N_u \geq r_s S,$$

wobei N_a und N_u die verfügbare Leistung der abhängigen und unabhängigen Kraftwerke während der Starklaststunden und r_s den Faktor der Störreserve bedeuten. Bei $N = r_s S$ ist die verfügbare Leistung in der Periode

der höchstgespannten Bilanz zur Deckung der Lastspitze und zur Sicherung der Energieversorgung vollständig ausgenutzt. In anderen Jahresperioden kann das Leistungsangebot die Netzlast aber übertreffen; dies erfolgt entweder aus den Lastschwankungen oder aus dem Anstieg der verfügbaren Leistung. Dadurch kann das Verbundsystem einen saisonalen Leistungsüberschuß aufweisen. Wenn dagegen sogar während der höchstgespannten Leistungsbilanz $N > r_s S$ ist, hat das Verbundsystem einen stetigen Leistungsüberschuß. Dies kann nach der Inbetriebnahme großer Kraftwerke eintreten, doch wird der zeitweilige Leistungsüberschuß durch den Lastzuwachs in kurzer Zeit ausgelastet.

Die zeitweilig unbelastete Leistung wird weiterhin *freie Leistung* (N_f) genannt. Sie wird durch die Differenz zwischen der jeweiligen verfügbaren Leistung N und der Last L ausgedrückt:

$$N_f = N - L.$$

Die freie Leistung entsteht aus folgenden Gründen:

1. aus den Tages- und Jahreslastschwankungen;
2. aus hoher Saisonleistung abhängiger Kraftwerke;
3. aus unbelasteter Reserveleistung.

3) Leistungsüberschüsse durch Lastschwankungen

Die zur Deckung der Tageslast benötigte Arbeitsleistung wird durch die auftretende Tagesspitze bedingt. Außerhalb der Starklaststunden verfügt das Verbundsystem über eine freie Arbeitsleistung $N_f = N - L$. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden: a) die verfügbare Tagesleistung des Verbundsystems ist unveränderlich; b) die verfügbare Leistung verändert sich je nach dem Energieangebot der Energiequellen, so daß einige Kraftwerke zeitweilig nicht imstande sind, ihre volle Leistung während des ganzen Tages aufrecht zu erhalten.

Im ersten Falle beträgt die potentielle Energieerzeugung $A_0 = S \cdot 24$ (kWh), wobei die Diagrammfläche oberhalb der Lastkurve die zusätzliche Energie $A_f = A_0 - A = A_0 \cdot (1 - m_1)$ darstellt, die von der freien Leistung erzeugt werden kann; sie wird mittels des Umkehrdiagramms dargestellt (Abb. 3). Einige typische

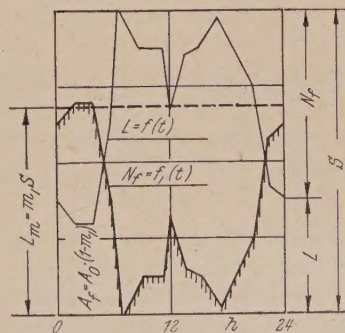


Abb. 3. Freie Leistung im Tageslastdiagramm

L und L_{m1} die tatsächliche und mittlere Last, N_f die freie Leistung, $N_f = f_1(t)$ das Umkehrdiagramm, A_f das Arbeitsvermögen der freien Leistung

Tageslastdiagramme für die Winter- und Sommerperiode sind in Abb. 4 gezeigt [6], [7], [8], woraus folgende ungefähre Zahlenwerte zu entnehmen sind:

der Lastfaktor $m_1 = L_{m1}/S = 0,70$ bis $0,80$,
die minimale Last (Nachtlast)
 $-L_{min}/S = 0,40$ bis $0,55$.

Die mögliche Energieausbeute durch die Belastung der freien Leistung wird durch das Verhältnis

$$\frac{A_f}{A} = \frac{1 - m_1}{m_1} = \frac{1}{m_1} - 1$$

ausgedrückt. Bei $m_1 = 0,70 \dots 0,80$ ergibt sich $A_f/A = 0,25 \dots 0,43$, d.h. eine Vollbelastung der freien Tagesleistung könnte die Energieausbeute um $25 \dots 43\%$ erhöhen. Praktisch läßt sich nur ein Teil dieser Leistung ausnutzen.

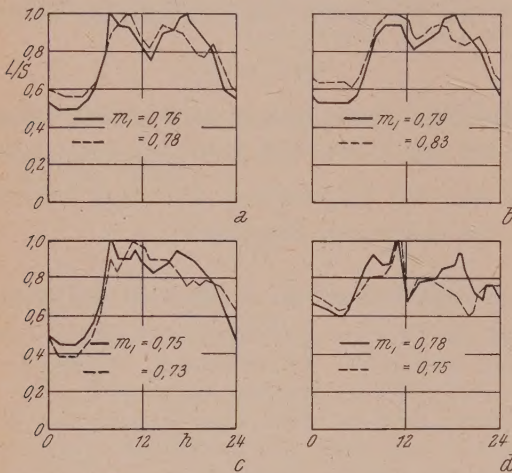


Abb. 4. Typische Tageslastkurven einiger Länder

— Winterkurven, --- Sommerkurven

- a — Electricité de France (20. VI. und 19. XII. 1956)
- b — italienisches Verbundnetz (20. VI. und 19. XII. 1956)
- c — Verbundnetz der Bundesrepublik Deutschland (1958)
- d — gesamte Energieversorgung der Schweiz (18. VI. und 15. I. 1958)

Der Ausnutzungsfaktor des Umkehrdiagramms beträgt

$$m_f = \frac{A_f}{N_{max} \cdot 24} = \frac{S(1 - m_1)}{S - L_{min}} = \frac{1 - m_1}{1 - L_{min}/S};$$

bei $m_1 = 0,70$ und $L_{min}/S = 0,45$ ergibt sich daraus $m_f = 0,54$.

Die Tageslastdiagramme lassen sich durch Lastregelung, durch Errichtung regelbarer Energieverbraucher und durch eine weitgehende Anwendung der Elektrowärme ausgleichen. Die volle Auffüllung der Diagramme wird aber von zwei Faktoren begrenzt:

1. Einige Kraftwerke sind für dauernde Vollbelastung nicht geeignet, weil sie entweder mit einem niedrigen Wirkungsgrad arbeiten oder teure Brennstoffe (Öl, hochwertiges Gas) verbrauchen. Diese Kraftwerke müssen nur während der Starklastzeit belastet oder für Reservezwecke eingesetzt werden; ihr Anteil an der Energiebilanz muß dagegen gering sein. Zur Lieferung der zusätzlichen Energie können nur Wasserkraftwerke und technisch hochwertige Wärmekraftwerke, welche die örtlichen Brennstoffe ausbeuten, herangezogen werden.

2. Es ist wirtschaftlich nicht vorteilhaft, Wärme-

kraftaggregate mit ihrer Nennleistung dauernd zu fahren, weil sich ihr spezifischer Wärmeverbrauch nach Überschreitung der Bestlast erhöht.

Die Tageslast verändert sich auch während der Woche (Abb. 5). Der Rückgang des Energieverbrauchs an Sonn- und Feiertagen ist im Sektor des Industriebedarfs besonders groß. Mit der freien Leistung der Wochenende und Feiertage wäre es theoretisch möglich, die Jahresarbeit der Verbundsysteme um ungefähr 10% zu vergrößern. Tatsächlich kann nur ein Teil dieser freien Leistung ausgelastet werden, da in normalen Lebensbedingungen nur solche Industriezweige während der Feiertage betrieben werden können, die wenig Personal beschäftigen und erheblicher Mengen billiger Energie bedürfen. Hier kommen vor allem die Elektrowärme-Verbraucher in Frage. Falls bei einer Fünftage-Woche Elektrowärmeapparate an Wochenenden eingesetzt werden, können sie rund 2700 h/a arbeiten, ohne die Lastspitze des Verbundsystems zu erhöhen [9].

Der Lastrückgang an Wochenenden wird durch den Übergang auf die 5-Tage-Arbeitswoche verstärkt. Der Einfluß dieses Umstands ist von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft an der Technischen Hochschule Karlsruhe untersucht worden [10]. Die prozentuelle Bedarfsverteilung auf verschiedene Wochentage ist wie folgt angegeben:

	Gesamtbedarf	Industriebedarf
Werktage	100%	100%,
Samstag	76...88%	75%,
Sonntag	52...67%	43%.

Die Lastsenkung am Wochenende verursacht einen Leistungsmehrbedarf an Werktagen und führt zur schlechteren Ausnutzung der teuren Energieanlagen. Eine gründliche Untersuchung dieser Probleme ist deshalb für die Elektrizitätsversorgung sehr wichtig.

Den größten praktischen Wert hat die freie Saisonleistung, die infolge der jahreszeitlichen Last- und Leistungsschwankungen entsteht. Da diese Leistung

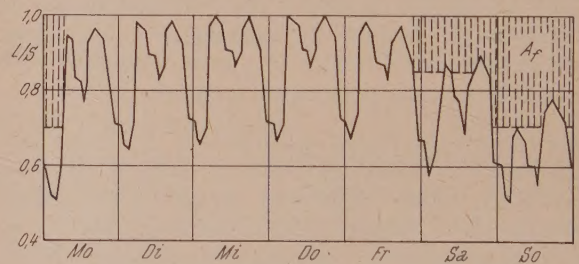


Abb. 5. Freie Leistung am Wochenende

über eine längere Zeitperiode ununterbrochen verfügbar ist, kann sie in besonderen Produktionszweigen zweckmäßig ausgenutzt werden. Die Größe der saisonalen freien Leistung hängt wie von der Jahreskurve, so auch von dem Charakter der abhängigen Kraftwerke, d.h. von dem Verlauf ihrer verfügbaren Leistung ab.

Bei $N = \text{konst.}$ wird im Sommer eine gewisse Arbeitsleistung durch die normale Lastsenkung befreit. Das Arbeitsvermögen dieser überschüssigen verfügbaren Leistung beträgt.

$$A_f = A_0 \cdot (1 - m_2) \quad [\text{kW/a}],$$

wobei $A_0 = S_0 \cdot 8760$ und m_2 den Füllungsgrad der Jahreshöchstlastkurve bedeuten. Die Fläche der überschüssigen Saisonleistung soll vorerst zur Überholung der Energieaggregate ausgenutzt werden. Nur die restliche Leistung stellt die jahreszeitlich freie Leistung dar, die zur Bedienung der Saisonverbraucher eingesetzt werden kann (Abb. 6). Wenn die Jahreslastkurve ziemlich ausgeglichen ist, dann wird im Verbundsystem allerdings eine besondere Reparaturreserve N_{rr} benötigt, welche die installierte Gesamtleistung erhöht.

Die planmäßigen Reparaturen bedürfen einer Dia-

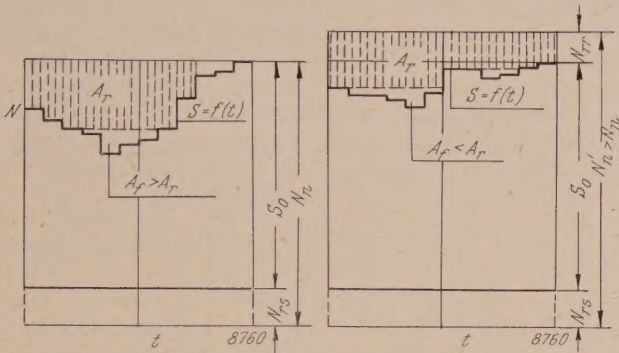


Abb. 6. Freie Saisonleistung bei unveränderlicher verfügbarer Leistung

Links: $A_I > A_R$; die Überholungen während des Lasttals durchführbar

Rechts: $A_I < A_R$, die ausgeglichene Jahreskurve verlangt eine Reparaturreserve N_{rr}

grammfläche (in Energieeinheiten) von $A_r = N_n \cdot T_r$, wobei $T_r(h)$ die durchschnittliche Dauer der Aggregat Reparatur ist. Bei der Jahreskurve $S = f(t)$ mit einem tiefen Saisontal kommt

$$A_I > A_r \text{ oder } A_0 \cdot (1 - m_2) > N_n \cdot T_r$$

vor; dies erfolgt, wenn

$$m_2 < 1 - \frac{N_n T_r}{A_0} = 1 - \frac{r \cdot T_r}{8760} \text{ ist.}$$

In diesem Falle verfügt das Verbundsystem über überschüssige Leistung, die an besondere Saisonverbraucher geliefert werden kann. Die theoretische Energieausbeute dieser Leistung beträgt:

$$A_S = A_0 \cdot (1 - m_2) - N_n T_r = A_0 \left(1 - m_2 - \frac{r \cdot T_r}{8760} \right) \quad [\text{kWh/a}].$$

Bei einer ausgeglichenen Jahreskurve reicht die Fläche des Lastrückgangs zur Durchführung der Reparaturen nicht aus, d. h. $A_I < A_r$ oder $A_0 \cdot (1 - m_2) < N_n T_r$, weshalb im Verbundsystem eine Reparaturreserve N_{rr} vorhanden sein muß, die auch zeitweilig zur Energielieferung an besondere Energieabnehmer eingesetzt wird.

Da der vorhandene Leistungsüberschuß nur dann die zu überholenden Aggregate ersetzen kann, wenn die freie Leistung die Nennleistung der stillzusetzenden Aggregate übersteigt, läßt sich die im Jahresdiagramm befreite Fläche zum Reparaturzweck nicht vollständig ausnutzen, so daß tatsächlich eine um 20 bis

30% (je nach der Aggregatgröße) größere Fläche der freien Leistung für die Reparaturen nötig ist.

Die Jahreslastkurven werden entweder mittels der Energieverbrauchswerte (per Tag, Woche, Jahr), oder mit den auftretenden Tageslastspitzen angegeben. Einige Beispiele der Jahresbedarfsdiagramme sind in Abb. 7 angeführt [11], [7], [12], [13]. Da der Energieverbrauch von den Möglichkeiten der Energielieferung beeinflusst wird, sind hier zwei Typen der Lastdiagramme zu unterscheiden: 1. der Energiebedarf wird vorwiegend von den unabhängigen Kraftwerken (Wärme Kraftwerken) gedeckt, welche den Verlauf der Jahreskurve nicht beeinflussen; 2. in der Energielieferung spielen die abhängigen Kraftwerke (Wasserkraftwerke) eine erhebliche Rolle, weshalb der Energieverbrauch ihrem naturbedingten Energiedargebot gewissermaßen folgt.

Im ersten Falle weisen die Jahresdiagramme normal ein Lasttal in der Sommerperiode auf. Doch ist in der letzten Zeit eine Ausgleichstendenz in dem Jahresverlauf des Energiebedarfes zu erkennen, wobei in einigen Ländern die Sommerspitze bereits so groß wie die Winterspitze ist. In Amerika beträgt die Sommerspitze durchschnittlich 98% der Winterspitze, wobei in einigen südlichen Gebieten sie schon die Win-

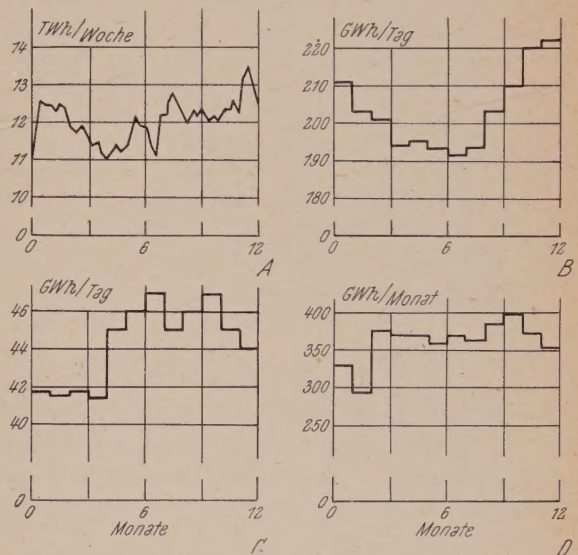


Abb. 7. Jahresdiagramme des Energiebedarfs (1958)

A — Wochenausbeute der Elektrizitätswerke in USA

B — arbeitstägl. Verbrauch aus dem öffentlichen Netz in der Bundesrepublik Deutschland

C — mittlerer täglicher Verbrauch in der Schweiz (Landesverbrauch, nach Abzug der Energieausfuhr)

D — Industriebezug aus dem österreichischen öffentlichen Netz

terspitze übersteigt [18]. Man erwartet, daß bald in den meisten amerikanischen Verbundsystemen die Jahrespitze während der Sommerperiode auftreten wird. Da der regelmäßige Energiebedarf die jahreszeitliche Leistung vermindert, muß dann in Verbundsystemen eine besondere Reparaturreserve bereitgehalten werden.

In einer unterschiedlichen Lage befinden sich die Wasserkraftsysteme, weil ihre verfügbare Leistung je nach der Wasserführung schwankt. Hier ist in den Jahresperioden hoher Wasserführung Überschußenergie verfügbar, die zur Versorgung der Saisonabnehmer

manchmal auch dann benötigt wird, wenn die abhängigen Kraftwerke in der Höchstperiode ihre volle Leistung entwickeln. Wenn die höchstgespannte Leistungsbilanz in der Periode der Jahreshöchstlast vor- kommt, dann ist $S = S_0$ und $\Delta S = 0$, woraus $N_{rk} = \Delta N_a = N_{an}(1 - \gamma)$, d. h. die Ausgleichsreserve soll die Leistungssenkung der abhängigen Kraftwerke gänzlich ersetzen. Falls die Leistungskurven der abhängigen Kraftwerke verschieden verlaufen, dann ist

$$N_{rk} = \sum_{i=1}^n \Delta N_{ai} - \Delta S = \sum_{i=1}^n N_{ani}(1 - \gamma_i) - \Delta S,$$

wobei N_{ani} die installierte Leistung einzelner Kraftwerksgruppen und γ_i ihren Verfügbarkeitsgrad in der Periode der kritischen Leistungsbilanz bedeuten.

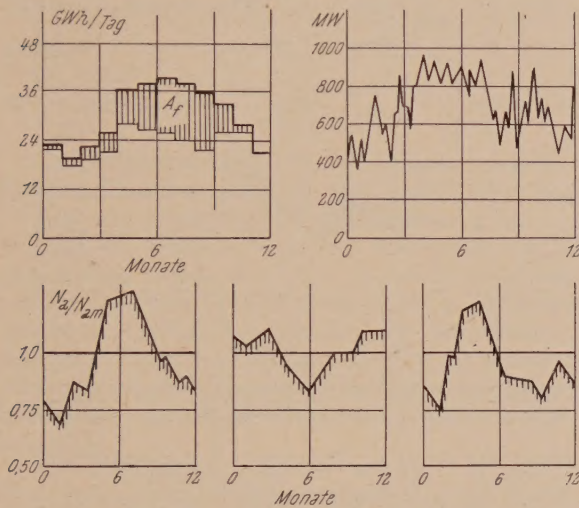


Abb. 10. Leistungskurven der Laufwerke

Oben: links, Energieerzeugung der schweizerischen Laufwerke (1958), A_f Energieausfuhr; rechts, verfügbare Leistung der bayerischen Laufwerke (1956)
Unten: Leistungsverlauf der Laufwerke verschiedener Flußsysteme — Alpenflüsse, Flüsse Skandinaviens und Flüsse der Flachlandgebiete

Die Ausgleichsreserve stellt eine Quelle der freien Leistung dar, weil sie außerhalb der Periode der höchstgespannten Leistungsbilanz teilweise frei wird. Wenn N_{rk} sich in den unabhängigen Kraftwerken befindet, dann ist sie das ganze Jahr durch verfügbar; diesmal ist in den Perioden der hohen Energiedarbietung ($N_a = N_{an}$) die ganze Ausgleichsleistung frei und sie kann billige Saisonenergie an spezielle Abnehmer liefern [2]. Wenn dagegen N_{rk} in regelbaren abhängigen Kraftwerken (Speicherwerken) untergebracht worden ist, dann ist ihr jährliches Arbeitsvermögen durch die Energiequelle eingeschränkt, so daß die freie verfügbare Leistung niedriger als im Falle der thermischen Ausgleichsleistung ist.

Die zur Zeit wichtigsten abhängigen Kraftwerke sind die Wasser- und Heizkraftwerke, welche den Verlauf der verfügbaren Leistung der Verbundsysteme beeinflussen.

Die Lastart der *Wasserkraftwerke* wird durch die Wasserführung und die Möglichkeiten der Wasserspeicherung bedingt. Dabei muß der vorhandene Wasserfluß vollkommen ausgenutzt werden und die Wasserkraftwerke sollen sich mit ihrer vollen Leistung an der Deckung der Lastspitze beteiligen. Diese Forderungen werden nur teilweise erfüllt, weshalb eine Aus-

gleichleistung nur selten völlig vermieden werden kann. Die Laufwerke decken die Grundlast und ihre verfügbare Leistung folgt der Wasserdarbietung (Abb. 10) [12], [15], weshalb sie eine Ausgleichsleistung benötigen, die 50...60% der installierten Laufwerksleistung betragen kann. Da diese Leistung in wasserreichen Perioden frei ist, geben die Laufwerke den Anreiz zur Entwicklung besonderer Saisonverbraucher. In den meisten Ländern ist es unmöglich, so große Wasserspeicher zu errichten, um die Leistungsschwankungen der Laufwerke vollständig ausgleichen zu können; deshalb wird der Leistungsverlauf der Wasserkraftsysteme durch die Laufwerke mehr oder weniger beeinflusst. Einige Beispiele der Saisonschwankungen der Wasserkraftleistung sind für verschiedene europäische Gebiete in Abb. 10 angegeben.

Die verfügbare Leistung der Speicherwerke kann nach ihrem Wasservorrat mehr oder weniger geregelt werden. In großen Verbundnetzen ermöglichen schon die Tagesspeicher den Fahrplan der Wasserkraftwerke mit den Lastbedürfnissen gewissermaßen übereinzustimmen. Die Lastzone wird bei sinkender Wasserdarbietung in Richtung der Spitzenlast verschoben; wenn bei sehr niedriger Wasserführung ihre verfügbare Leistung auch in reinem Spitzenbetrieb sinkt ($N_a < N_{an}$), dann ist eine gewisse Ausgleichsleistung unentbehrlich. Die Saison-Speicherwerke gleichen die Leistungsabgabe des Verbundsystems aus und stellen billige Ausgleichsreserve für die abhängigen Kraftwerke bereit. Der Einsatz der Speicherkraftwerke zum Leistungsausgleich ist in Abb. 11 gezeigt [16], wobei die Speicherwerke die Leistungstäler der Winterperiode füllen. Die Speicherkraftwerke benötigen aber eine Energiereserve während der sehr trockenen Jahre. Energiereserve ist nur dann überflüssig, wenn die Wasservorräte ausgedehnter Wasserspeicher zum Ausgleich des Energiedargebots zwischen den unterschiedlichen Jahren ausreichen.

Die freie Ausgleichsleistung muß für Reparaturzwecke reserviert werden. Da aber die abhängigen Aggregate dann überholt werden können, wenn sie aus Mangel an Energiequelle still liegen, muß die überschüssige Ausgleichsleistung nur die zu überholenden unabhängigen Aggregate ersetzen. Die restliche freie Saisonleistung steht zur Erzeugung zusätzlicher Energie bereit.

Die *Heizkraftwerke* (HK-Werke) gehören ebenfalls zur Gruppe der abhängigen Kraftwerke. Ihre elektrische Leistung setzt sich aus der Gegendruckleistung (G-Leistung) und der angeschlossenen Kondensationsleistung (K-Leistung) zusammen. Die verfügbare Gegendruckleistung verändert sich je nach der Wärmeabgabe und nimmt mit steigender Wärmebelastung zu. Die Heizkraftwerke mit G + K-Aggregaten können dadurch die höchste elektrische Leistung in den Perioden des großen Wärmebedarfs (im Winter) entwickeln (Abb. 12); die Heizkraftwerke mit Entnahmekondensationsaggregaten (EK-Aggregaten) dagegen verfügen über die höchste elektrische Leistung in den Jahreszeiten der geringen Wärmebelastung, d. h. im Sommer. Gegendruckaggregate benötigen eine hohe Ausgleichsleistung, und wenn Gegendruckwerke den saisonalen Bedarf an Beheizungswärme decken, dann soll fast ihre ganze Leistung in anderen Kraftwerken doubliert werden. Die Heizkraftwerke bedürfen einer Ausgleichsreserve wie zum Ausgleich ihrer Jahresleistungskurve,

so auch zur Überbrückung der Leistungsschwankungen im Laufe des Tages. Der Rückgang der Gegendruckleistung bei niedrigem Wärmebedarf wird mittels der Kondensationsleistung der Entnahmekondensationsaggregate mehr als ausgeglichen. Die verfügbare Heizkraftleistung kann deshalb durch die Auswahl geeigneter Aggregattypen den Lastforderungen angepaßt werden [4].

Wenn die Leistungskurven der abhängigen Kraftwerke so verlaufen, daß ihre Leistungsschwankungen sich gegenseitig ausgleichen, dann ist die Ausgleichsleistung im abhängigen Kraftwerk selbst enthalten. Da das Arbeitsvermögen dieser Werke von ihren Energiequellen beschränkt wird, ist die freie Leistung diesmal geringer als dann, wenn zum Leistungsausgleich unabhängige Kraftwerke dienen. Da die Energieausbeute der abhängigen Kraftwerke in einzelnen Jahren erheblichen Schwankungen unterworfen ist, muß in den Verbundsystemen aber auch eine gewisse unabhängige Ausgleichsleistung vorhanden sein.

5) Die freie Reserveleistung

Die Leistungsreserve $N_r = N_n - S_0$ setzt sich aus Stör-, Ausgleichs- und Reparaturreserve zusammen. Weil die Reserveleistung nur zeitweilig zur Erfüllung ihrer Aufgabe eingesetzt wird, stellt sie eine erhebliche unbelastete Leistung dar, da es sich hier um 15...30% der installierten Gesamtleistung der Verbundbetriebe handelt.

Die größten Mengen an zusätzlicher Energie kann die jahreszeitlich unbelastete Ausgleichsleistung liefern. Es ist jedoch auch möglich die zeitweilig freie Stör- und Reparaturreserve zur Energieerzeugung erfolgreich einzusetzen. Die Störreserve setzt sich aus innerer oder rotierender und äußerer oder stilliegender Reserve zusammen. Die innere Reserve ist in den Betriebsaggregaten zwischen ihrer Best- und Nennleistung enthalten; ihre Größe kann auf ungefähr 0,1 · S_0 geschätzt werden. Da der Wirkungsgrad der Energieaggregate oberhalb ihrer Bestleistung sich merkbar verschlechtert, ist es nicht vorteilhaft die innere Leistungsreserve dauernd zu belasten, weshalb sie zur Erzeugung zusätzlicher Energie nicht in Frage kommt. Die äußere Reserve befindet sich in besonderen Reserveeinheiten, welche betriebsbereit sind und dem Lastverteiler zur Verfügung stehen. Diese Reserveleistung kann Energie an solche Verbraucher liefern, welche die plötzlichen Unterbrechungen der Energieversorgung vertragen. Die mögliche Energieausbeute dieser Leistung ist

$$A_f = (8\,760 - T_s) \cdot (N_{rs} - 0,1 S_0),$$

wobei T_s (h/a) den mittleren Einsatz der Reserve zur Deckung der Betriebsstörungen bedeutet. Wenn, z. B. der Störfaktor der Energieanlagen $q = 0,05$ beträgt und $r_s = 1,20$ ist, dann ergibt sich

$$T_s = \frac{8\,760 \cdot q}{r_s - 1} = \frac{8\,760 \cdot 0,05}{0,2} = 2\,200 \text{ h/a}$$

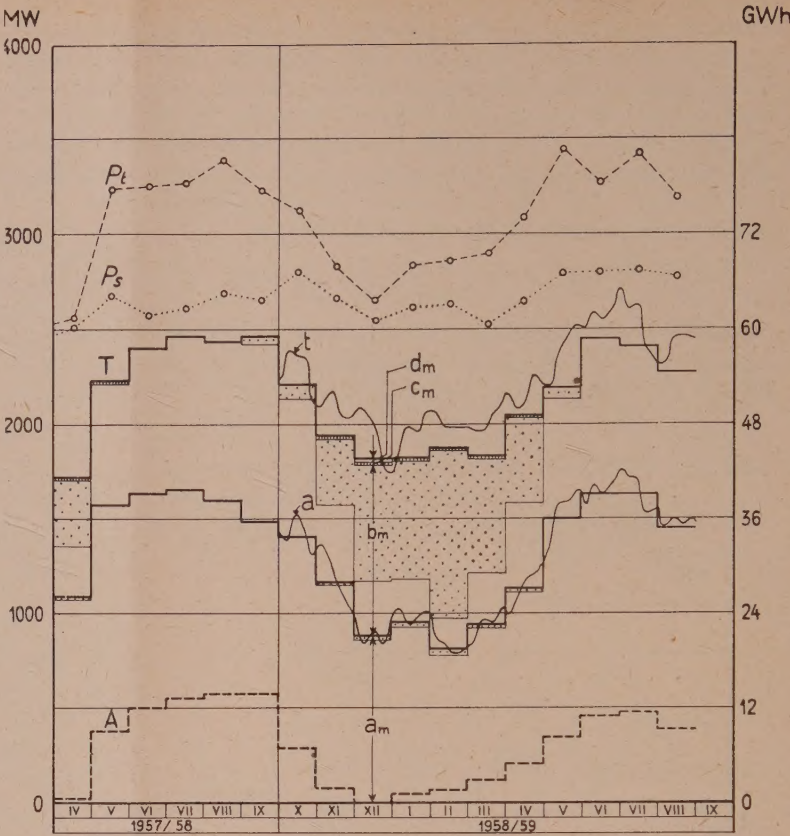


Abb. 11. Speicherwerke in der schweizerischen Energieversorgung

- Mittlere tägliche Erzeugung der Kraftwerke:
 a_m Laufwerke, punktierter Teil aus Saisonspeicherwasser
 b_m Speicherwerke, punktierter Teil aus Saisonspeicherwasser
 c_m thermische Erzeugung, d_m Einfuhrüberschüsse
 P_t Höchstleistung am dritten Mittwoch jedes Monats

$$\text{und } A_f = (8\,760 - 2\,200) \cdot (0,20 - 0,10) \cdot S_0 = 660 \cdot S_0 \text{ [kWh/a].}$$

Bei der Benutzungsdauer der Höchstlast 5 000 h/a

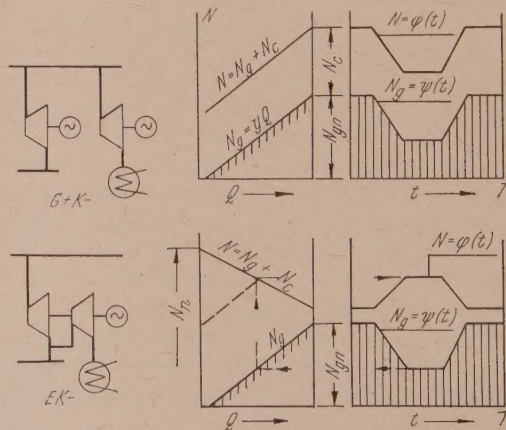


Abb. 12. Die verfügbare Heizkraftleistung

- G Gegendruckaggregat, K Kondensationsaggregat, EK Entnahmekondensationsaggregat
Mitte: Leistungskennbilder der Heizkraftaggregate
Rechts: die Kurven der verfügbaren Leistung
 N_g die Gegendruckleistung, N_c die Kondensationsleistung, N die verfügbare Gesamtleistung, Q die Wärmeabgabe des Heizkraftaggregats

ergibt sich in diesem Falle $A_f/A = \frac{660}{5\,000} = 0,133$, d. h.

die Störreserve kann die Energieausbeute des Verbundsystems um 13,3% erhöhen. Obgleich die zeitliche Verfügbarkeit dieser Energie nicht vorauszusehen ist, kann sie von besonderen Energieabnehmern mit Erfolg verwertet werden [17]. Bei dem Ausfall der Betriebsaggregate müssen diese Verbraucher vom Verbundnetz zeitweilig abgeschaltet werden.

Bei ausgeglichenen Jahreslastkurven $S = f(t)$ reicht das saisonale Lasttal zur Durchführung der Aggregatüberholungen nicht aus, weshalb eine Reparaturreserve N_{rr} benötigt wird. Ihre Größe kann wie folgt bestimmt werden (bei $N = \text{konst}$ und $N_{rk} = 0$):

$$A_f + 8\,760\,N_{rr} \geq N_n \cdot T_r = (S_0 + N_{rs} + N_{rr})\,T_r,$$

woraus

$$N_{rr} \geq \frac{(S_0 + N_{rs})\,T_r - A_f}{8\,760 - T_r} \text{ ist.}$$

Die Reparaturreserve ist zur Lieferung zusätzlicher Energie besonders geeignet, weil gemäß dem Reparaturplan die Verfügbarkeit dieser Leistung im voraus bekannt ist. Dadurch kann eine fast beständige Energielieferung mittels der freien Reserveleistung erreicht werden: wenn die Reparaturreserve die zu überholenden Aggregate ersetzt, dann können die Verbraucher von der freien Störreserve bedient werden; sie müssen vom Netz nur dann abgeschaltet werden, wenn Betriebsstörungen während der Überholung großer Aggregate entstehen.

In Verbundsystemen, in welchen Wasser- und Wärmekraftwerke zusammenwirken, wird die Reparaturfläche von der freien Leistung der unabhängigen Kraftwerke und dem Leistungsrückgang der abhängigen Kraftwerke gebildet (Abb. 13). Die erste Leistung ist

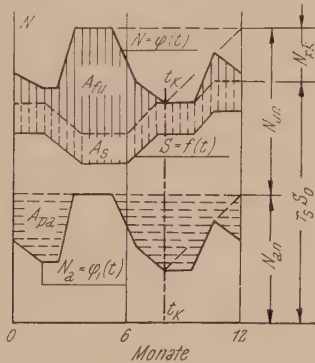


Abb. 13. Die Reparaturflächen bei veränderlicher verfügbarer Leistung

- A_{fu} — die Fläche der freien unabhängigen Leistung
- A_{da} — die Fläche der passiven abhängigen Leistung
- A_{fs} — die Fläche der Störreserve

betriebsbereit und kann sowohl die zu überholenden Aggregate jedes Kraftwerks ersetzen als auch Energie an besondere Abnehmer liefern. Die zeitweilig passive Leistung der abhängigen Kraftwerke kann dagegen nur andere Aggregate innerhalb des betreffenden Kraftwerks ersetzen. Da die abhängigen Kraftwerke dann überholt werden, wenn ihre verfügbare Leistung niedrig ist, bleibt die freie Ausgleichsleistung zur Überholung der unabhängigen Kraftwerke übrig. Dadurch

wird die Reparaturreserve vermindert oder ganz vermieden.

6) Schlußfolgerungen

Die Energiewirtschaft befindet sich in einer ungünstigeren Lage als die anderen Produktionszweige, weil die Erzeugung und Verwertung der elektrischen Energie praktisch gleichzeitig verläuft, so daß der Kraftwerksbetrieb allen Schwankungen des Energiebedarfes momentan folgen muß. Lastschwankungen vermindern die Energieausbeute der Kraftanlagen und verschlechtern die wirtschaftlichen Ergebnisse der Energieversorgung. Der Ausgleich der Energienachfrage und ihre Anpassung an die Erzeugungsmöglichkeiten stellt deshalb ein wichtiges Problem der elektrischen Energiewirtschaft dar.

Da jeder Verbundbetrieb zeitweilig erhebliche Leistungsreserven enthält, ist es angebracht, Maßnahmen zu prüfen, wie zusätzliche Energiemengen zu erzeugen sind, ohne den Leistungsbedarf des Verbundsystems zu erhöhen. Aus den Betriebsangaben der Energieversorgung einiger Länder sind folgende Werte des Jahres-Ausnutzungsgrads zu entnehmen [18], [7], [19], [20], [21]:

Tabelle 1

Land	Jahr	n
USA	1958	0,44
Westdeutschland	1958	0,48
Frankreich	1957	0,45
England	1956/57	0,44
Schweiz	1957/58	0,40

Die installierte Kapazität der Energiesysteme wird also meistens nur bis 50% ausgenutzt. Wenn im Verbundsystem nur unabhängige Kraftwerke arbeiten, dann ist $n_0 = 1,0$, weshalb die völlige Auslastung der freien Leistungen einen Mehrertrag von $A_f/A = (1 - n)/n$ ergeben könnte; bei $n = 0,50$ wäre hier theoretisch eine zusätzliche Jahresarbeit von 100% möglich. In Wasserkraftsystemen wird dagegen die Jahresarbeit durch die Energiequelle beschränkt, weshalb $n_0 < 1,0$ und die Energieausbeute sich um $A_f/A = (n_0 - n)/n = (1 - k)/k$ erhöhen läßt. Die n_0 -Werte hängen von der Leistungsstruktur des Verbundsystems, den Energiedargebotskurven der abhängigen Kraftwerke und auch von dem Lastverlauf ab. Um über die mögliche Mehrausbeute urteilen zu können, müssen hier die energetischen Jahresbilanzen aufgestellt werden.

Je nach der Größe und dem Ablauf der freien Leistung können Maßnahmen ausgewählt werden, wie dieser Leistungsüberschuß am zweckmäßigsten in die Energieversorgung einzusetzen wäre.

Schrifttum

[1] KROMS, A.: Leistungs- und Energiebilanz der Verbundsysteme. ÖZE, 11. Jg. (1958), H. 6, S. 265, und H. 8, S. 383.
[2] KROMS, A.: Reserveleistung in Verbundsystemen. ÖZE, 7. Jg. (1954), H. 1, S. 1.
[3] KROMS, A.: Energetische Charakteristik der Wasserkraftwerke, Die Wasserwirtschaft (1952), Nr. 6, S. 204.
[4] KROMS, A.: Leistungskennbilder der Heizkraftwerke Energie (1957), Nr. 11, S. 417.

[5] KROMS, A.: Struktur der Verbundsysteme. Die Technik (1953), Nr. 11, S. 725.

[6] MARCELLO, A.: Tendances et perspectives de la production d'énergie hydroélectrique dans l'Europe occidentale. Conférence mondiale de l'énergie, Montreal (1958), Rapport 122 A3/6.

[7] Die Elektrizitätsversorgung in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1958. Elektrizitätswirtschaft, 58. Jg. (1959), H. 14, S. 478.

[8] Bull. SEV, 49. Jg. (1958), Nr. 7, S. 285, und Nr. 19, S. 947.

[9] GELISSEN, H.: Elektrowärme-Industrie-Elektrizitätswirtschaft. Elektrizitätswirtschaft, 56. Jg. (1957), H. 17, S. 581.

[10] Der Einfluß der 5-Tage-Woche auf die Elektrizitätsversorgung. Praktische Energiekunde (1959), Nr. 1, S. 52. Auszug im Bulletin SEV, 50. Jg. (1959), Nr. 20, S. 1004.

[11] The Electrical Week, Electrical World (1959), Oct. 19, S. 19.

[12] Bull. SEV, 50. Jg. (1959), Nr. 11, S. 552, und Nr. 15, S. 748.

[13] HINTERMAYER, F.: Tätigkeitsbericht des Bundeslastverteilers über das Betriebsjahr 1958. ÖZE, 12. Jg. (1959), H. 6, S. 353.

[14] KROMS, A.: Integralkurven der Energie. Bull. SEV, 47. Jg. (1956), Nr. 7, S. 302.

[15] WOLF, L.: Die Elektrizitätswirtschaft Bayerns, Stand und Zukunftsausgaben. Energie (1959), Nr. 9, S. 398.

[16] Gesamte Erzeugung und Verwendung der elektrischen Energie in der Schweiz. Bull. SEV, 50. Jg. (1959), Nr. 22, S. 1104.

[17] KROMS, A.: Ausnutzung der überschüssigen Leistung der Verbundbetriebe. Die Technik (1952), Nr. 8, S. 435, und Nr. 10, S. 581.

[18] EEI Sees Steady Growth Ahead. Electrical World (1959), May 25, S. 103.

[19] Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in Frankreich im Jahre 1957. Bull. SEV, 50. Jg. (1959), Nr. 10, S. 499.

[20] Die Betriebsergebnisse der General Electricity Authority im Betriebsjahr 1956/57. Bull. SEV, 49. Jg. (1958), Nr. 4, S. 147.

[21] Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz im Betriebsjahr 1957/58. Bull. SEV, 50. Jg. (1959), Nr. 6, S. 265.

Universell anwendbarer Fehlerschutzschalter

Von G. PRADE, Wien

DK 621.316.577:621.316.9

In Leitungsnetzen und elektrischen Anlagen mit Betriebsspannungen über 65 V gegen Erde sind heute fast allorts Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen erforderlich. Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten sind in den zuständigen Errichtungsvorschriften enthalten und waren schon wiederholt Mittelpunkt zahlreicher Diskussionen und Veröffentlichungen. Aus bekannten Gründen tritt hierbei die Schutzschaltung (FU- bzw. FI-Schutzschaltung) in letzter Zeit immer mehr in den Vordergrund, weshalb im nach-

folgenden Aufsatz die für die Anwendung notwendigen Voraussetzungen kurz erwähnt werden.

1,1) Der Fehlerspannungsschutz (FU-Schutzschaltung)

Die Wirkungsweise ist allgemein bekannt und in Abb. 1 nochmals schematisch dargestellt. Die Auslösespule des FU-Schutzschalters ist mit Hilfe der Schutzleitung und der Hilfserdungsleitung so geschaltet, daß sie die auftretenden Berührungsspannungen am zu schützenden Verbrauchergerät voltmetrisch überwacht. Voraussetzung für die einwandfreie Funktion des FU-Schutzes ist, daß die angeschlossenen Geräte von Erde isoliert montiert sein müssen. Andernfalls würde die Auslösespule durch den natürlichen Erdungswiderstand des Gerätes geschuntet werden, wodurch der Schalter „verspätet“ oder gar nicht auslösen würde. Im Schadensfall könnte zwar keine unzulässig hohe Berührungsspannung am Gehäuse entstehen, der zur Erde abfließende Fehlerstrom aber kann dann unter Umständen sehr hohe Werte annehmen und damit eine beträchtliche Brandgefahr verursachen.

1,2) Der Fehlerstromschutz (FI-Schutzschaltung)

Das wichtigste Bauelement des FI-Schutzschalters ist neben dem eigentlichen Schaltorgan der Fehlerstromwandler, auch Differentialwandler genannt. Seine Wirkungsweise beruht auf dem ersten Kirchhoffschen Gesetz, welches besagt, daß die Summe der Augenblickswerte i der Ströme, die in einem beliebigen Knotenpunkt einer elektrischen Schaltung zu- und abfließen, stets gleich Null ist ($\sum i = 0$). Das heißt demnach,

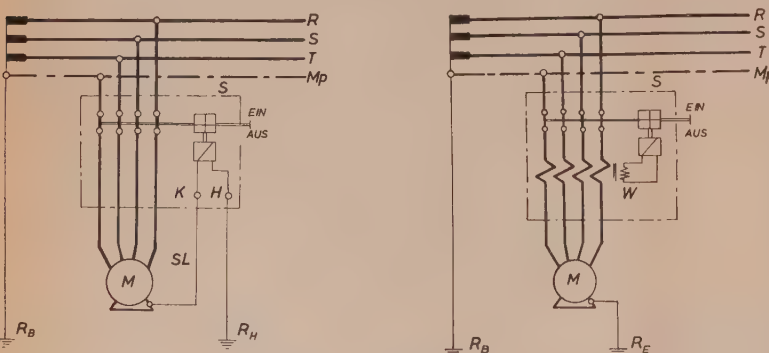


Abb. 1. Prinzipschema der

a) FU-Schutzschaltung

b) FI-Schutzschaltung

S Schutzschalter
R_B Betriebserde
R_E Erdungswiderstand

R_H Hilfserdungswiderstand
SL Schutzleitung
W Differentialwandler

folgenden Aufsatz dieser Schutzmaßnahme unter Verwendung eines neuartigen Fehlerschutzschalters besonderes Augenmerk geschenkt werden soll.

1) Die Anwendung der Schutzschaltung

Obwohl die Funktion dieser Schutzmaßnahme sicher keiner weiteren Erklärungen mehr bedarf, sollen doch

daß bei einer erdschlußfreien Anlage, die mit FI-Schutzschaltung ausgerüstet ist, der Wandler magnetisch nicht durchflutet wird, und daher in seiner Sekundärwicklung keine Spannung induziert werden kann;

widerstand ist vielfach kein konstanter Wert, sondern je nach Wetterlage, selbst bei stationären Anlagen großen Schwankungen unterworfen. In Abb. 2 ist die Abhängigkeit des spezifischen Erdwiderstandes von der relativen Feuchtigkeit für einige Bodenarten dargestellt. Um nun in elektrischen Anlagen, Verteilerstationen, bei Hausanschlüssen und Wohnungsinstallationen sowohl Berührungsspannungsschutz als auch Brandschutz, und zwar auch bei weitgehend variablem Erdungswiderstand, zu gewährleisten, wurde ein neuartiger universell anwendbarer Fehlerschutzschalter mit je einer Auslöseeinrichtung für auftretende Fehlerspannungen und einer davon völlig getrennt arbeitenden Fehlerstromauslösung entwickelt. Das Prinzipschema des neuen kombinierten Schalters ist aus Abb. 3 ersichtlich. Es handelt sich, wie schon erwähnt, um einen FI-Schutzschalter, der zusätzlich mit einer FU-Auslösung ausgerüstet ist.

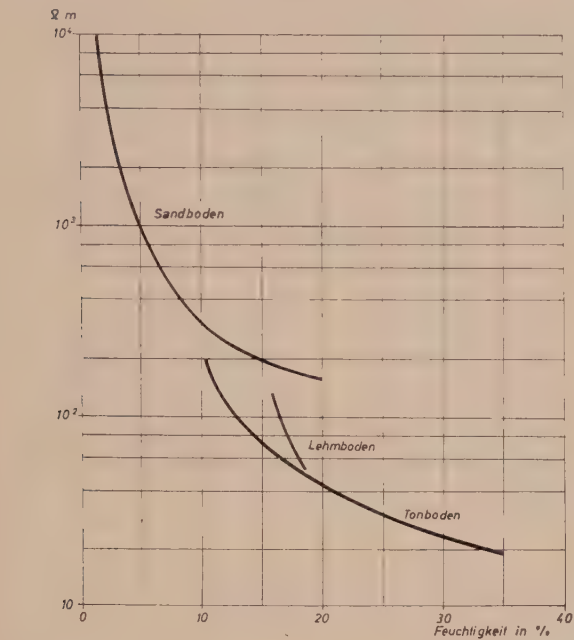


Abb. 2. Abhängigkeit des spezifischen Erdwiderstandes von der Feuchtigkeit

dabei ist es gleichgültig, ob die sekundäre Verbraucherlast symmetrisch oder unsymmetrisch ist, bzw. ob die Kurvenform sinusförmig oder verzerrt ist. Falls nun ein Isolationsschaden in der geerdeten Anlage auftritt, so fließt ein Fehlerstrom über den Schutzerdungswiderstand R_E (gemäß Abb. 1b) zur Erde ab, wodurch der Strom bzw. das Flußgleichgewicht im Wandler gestört wird; der resultierende Fluß induziert nun eine Spannung, die den Schalter zur Auslösung bringt. Voraussetzung für die Wirksamkeit der Fehlerstromschutzschaltung ist jedoch, wie schon erwähnt, daß das zu schützende Gerät geerdet ist. Die Größe des Schutzerdungswiderstandes R_E richtet sich nach der Auslöseempfindlichkeit (Auslösenennstrom $I_{A\text{ nenn}}$) des FI-Schutzschalters, wobei er unter Zugrundelegung der maximal zulässigen Berührungsspannung $U_{B\text{ max}}$ von 65 V gemäß tieferstehender Formel errechnet wird:

$$R_E = \frac{U_{B\text{ max}}}{I_{A\text{ nenn}}}.$$

Nach ÖVE-E 40/59 § 17 ist bei der Ermittlung des Schutzerdungswiderstandes der doppelte Nennwert des Auslösefehlerstromes einzusetzen.

1.3) Der kombinierte FI-FU-Schutzschalter

Es hat sich nun in der Praxis gezeigt, daß einerseits die einwandfreie Ermittlung des tatsächlichen Hilfs- bzw. Schutzerdungswiderstandes, andererseits die Konstanzhaltung seines Ohmwertes während längerer Zeit in vielen Fällen große Schwierigkeiten verursacht, letzteres ja sogar oft undurchführbar ist. Der Erdungs-

Bei der Installation ist demnach sowohl die Erdung des Verbrauchers als auch die Verlegung der Schutzleitung zum Schalter (SL-Leiter an Klemme K) erforderlich. Tritt während des Betriebes ein Isolationsschaden im Verbrauchergerät auf, so löst bei entsprechend niederohmiger Schutzerdung die FI-Auslösung aus, andernfalls verursacht die entstehende Berührungsspannung eine Abschaltung des Schutzschalters durch die zusätzlich eingebaute FU-Auslösung.

Der große Vorteil dieser „doppelten Schutzmaßnahme“ besteht vor allem darin, daß die beiden Auslösesysteme völlig getrennt voneinander arbeiten und

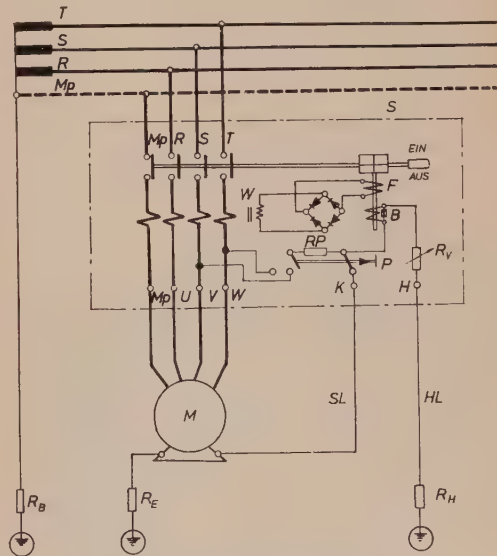


Abb. 3. Kombinierte FI-FU-Schutzschalter (Prinzipschema)

- S Kombinierte FI-FU-Schalter

F FI-FU-Auslöser

P Prüfeinrichtung

RP Prüf Widerstand

W Differentialwandler
- B Überspannungsableiter

SL Schutzleiter

HL Hilfserdungsanschluß

Rv einstellbarer Vorwiderstand

RH Hilfserdungswiderstand
- RE Schutzerdungswiderstand des Verbrauchers

RB Betriebserde

sich gegenseitig nicht beeinflussen können. Abb. 4 zeigt den kombinierten Schutzschalter mit abgenommener Bakenlutschutzkappe, beide Auslöserelais sind vor mechanischer Beschädigung und nichtfachmännischen Manipulationen durch völlige Kapselung geschützt.

Durch Betätigen der Prüfeinrichtung P (Abb. 3) kann die Funktionstüchtigkeit des Schalters jederzeit überprüft werden. Um gleichzeitig die Hilfserdungsleitung bzw. den Hilfserdungswiderstand mit in die Kontrolle einzubeziehen, wurde eine „Spannungsprüfung“ (gemäß FU-Schutzschalter) vorgesehen.

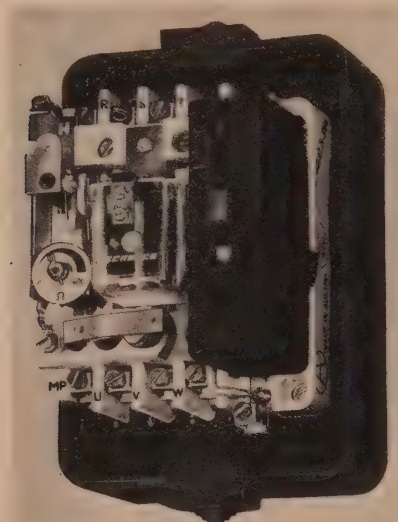


Abb. 4a. Kombiniertes Schalter, offen

1,4) Die Anwendung als Nullungsschutzschalter

Von großer Bedeutung ist ferner die Möglichkeit, dieses Gerät ohne irgendwelche Veränderungen oder Zusätze als Nullungs-Schutzschalter zu verwenden.

Bei einem Kurzschluß zwischen Außenleiter und Nulleiter bzw. bei großer einphasiger Überlast oder Isolationsschäden in Verbrauchergeräten kann die Null-

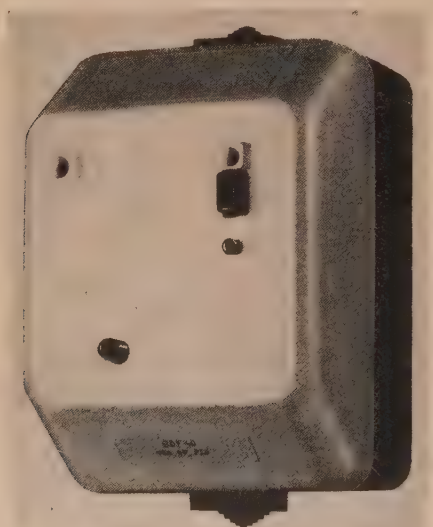


Abb. 4b. Kombiniertes Schalter, geschlossen

sind, daß die vorgeschaltete Sicherung nicht abschmelzen kann. Abb. 5 veranschaulicht die Spannungsverschiebung bei einem Erdschluß der Phase S; es entsteht, wie aus dem Vektordiagramm zu ersehen ist, nicht nur eine beträchtliche Berührungsspannungsgefahr, da ja alle Verbrauchergehäuse im genullten Netz mit dem Nulleiter verbunden sind, sondern es kann im Erdschlußfall auch die Phasenspannung der beiden gesunden Phasen gegen den verschobenen Mittelpunkt soweit ansteigen, daß die dort angeschlossenen Verbrauchergeräte Schaden nehmen. Aus diesem Grund muß daher bei der Schutzart Nullung in Netzteilen hinter einem FI-Schutzschalter die erste Null-

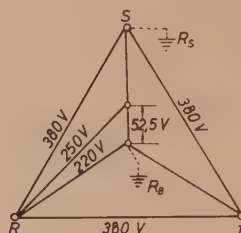


Abb. 5. Höchstzulässige Nullpunktsverlagerung in einem Drehstromnetz bei einer Spannung von $3 \times 380 \text{ V} \sim$

R_S Erdschlußwiderstand
 R_B Betriebserde

lungsbedingung eingehalten werden. Ist dies nicht möglich, muß zusätzlich ein FU-Schutzschalter zur Überwachung der Nulleiterspannung vorgesehen sein. [(ÖVE-E 40/59 14,21)]. Durch Anwendung des neuen Schutzschalters kann demnach mit einem einzigen Gerät das Auslangen gefunden werden. Gemäß Abb. 6 wird dann die Klemme K durch eine innere Verbindung mit dem Nulleiter verbunden und die Klemme H wie bisher an den Hilfserdungswiderstand angeschlossen. Ein im Schutzschalter eingebauter Drehwiderstand ermöglicht die stufenlose Verstellung der Auslösespannung entsprechend dem in Abb. 7 angegebenen Spannungsdiagramm. Hier ist die Abschaltungsspannung in Abhängigkeit des Hilfserdungswiderstandes unter Berücksichtigung des am Schalter möglichen Einstellbereiches angegeben. Diese Variationsmöglichkeit des Vorwiderstandes ist notwendig, um die gewünschte Auslösespannung unter Zugrundelegung des tatsächlichen Hilfserdungswiderstandes einzustellen. Die stark ausgezogene Kennlinie im Diagramm gibt die Auslösespannung bei volleingeschaltetem Vorwiderstand von 400Ω in Abhängigkeit des bestehenden Hilfserdungswiderstandes an. Vorzeitige Abschaltungen bei relativ kleinen Nulleiterspannungen können dadurch verhindert werden. In genullten Netzen besteht dann durch Einbau eines derartigen Gerätes die Möglichkeit des FI-Schutzes und damit außer dem Berührungsspannungsschutz auch noch größtmögliche Sicherheit gegen Brandgefahr, und zwar auch dann, wenn, wie bereits erwähnt, die erste Nullungsbedingung nicht eingehalten werden kann.

2) Die Konstruktion des kombinierten Fehler-schutzschalters

Wie schon erwähnt, wird das Gerät einerseits als Fehlerstromschutzschalter mit zusätzlicher FU-Auslösung, andererseits als Nullungsschutzschalter eingesetzt. In beiden Fällen muß naturgemäß eine möglichst große

leiterspannung bekanntlich dann sehr hohe Werte annehmen, wenn die Abschaltbedingung im Netz nicht erfüllt ist, das heißt, die Leitungswiderstände so groß

Schaltleistung von dem Kontaktapparat verlangt werden. Es ist bekannt, daß gerade in Anlagen mit FI-Schutzschaltung vielfach sehr niederohmige Erdungswiderstände bestehen, und daß hier dann bei Isolationsschäden mit großen Kurzschlußströmen zu rech-

züglich eine sichere Abtrennung der fehlerhaften Anlage vom Netz erfolgen. Ein Gerät, dessen Funktions-tüchtigkeit von einer Schmelzsicherung, die falsch be-messen sein kann, oder vielfach überhaupt fehlt, ab-hängig gemacht wird, kann kaum als vollwertiger Schutzschalter angesehen werden.

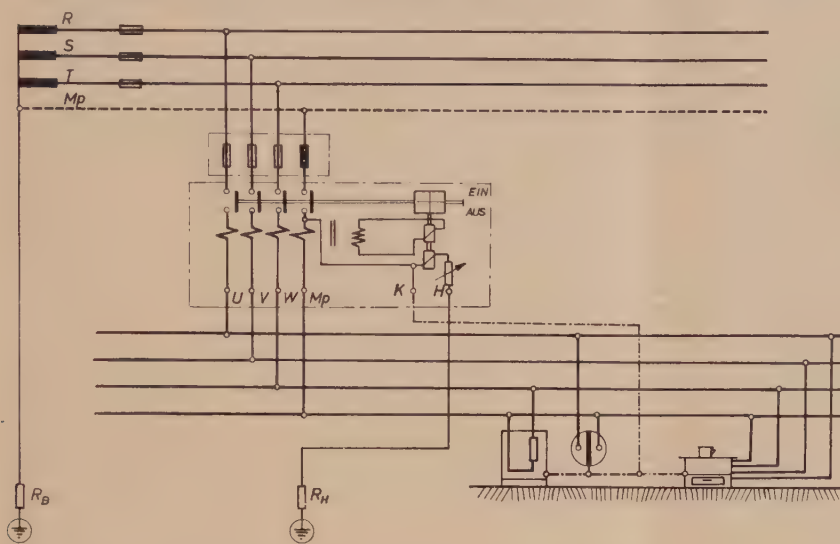


Abb. 6. Nullungsschutzschalter mit Nulleiterspannungsüberwachung

nen ist, die der Schutzschalter selbstverständlich, wenn schon nicht allein, so zumindest gleichzeitig mit der Vorsicherung abschalten muß, ohne dabei Schaden zu nehmen. Sich dabei aber restlos auf die Vorsicherung zu verlassen, erscheint mehr als problematisch; wie leicht kann es doch vorkommen, daß eine Verwechslung der Nennstromstärke der Patrone erfolgt, oder die-

werden. In Abb. 8 ist das Oszillogramm eines Abschaltversuches bei einer Netzspannung von 420 V~ und einem Phasenstrom von 420 A, $\sqrt{2} \cos \varphi = 0,9$ (Scheitelwert etwa 600 A) wiedergegeben, den der Schalter einwandfrei bewältigt hat.

Einen weiteren wesentlichen Punkt bezüglich ab-soluter Funktionssicherheit stellt die Isolationsfestigkeit sowohl der Auslösespule als auch des Stromwandlers

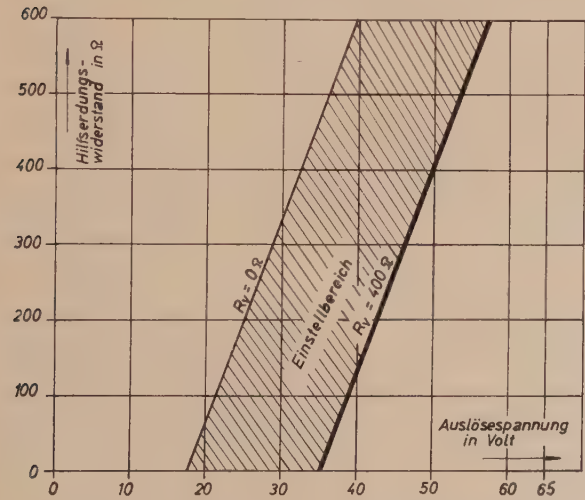


Abb. 7. Abhängigkeit der Auslösespannung vom Hilfserdungswiderstand

selbe einmal nicht „zur rechten Zeit“ abschmilzt, da ein minderwertiges Produkt verwendet wurde, von denen sich ja leider viele im Handel befinden, oder im Extremfall die Sicherung womöglich überbrückt war. Beim Auftreten eines Isolationsschadens bzw. bei Entstehung einer Gefahr für die in der schadhaften Verbrauchergruppe befindlichen Personen, soll unver-

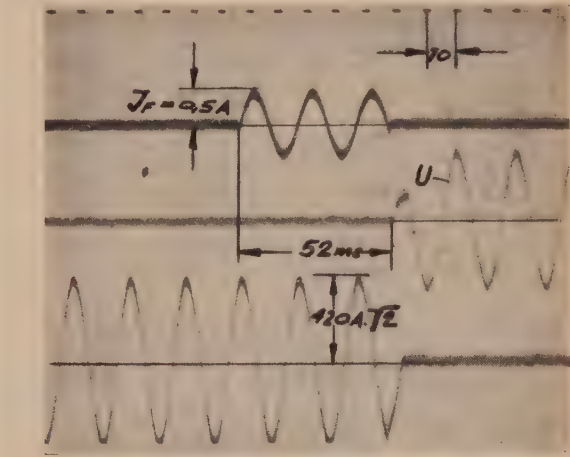


Abb. 8. Schaltleistungsoszillogramm einer Abschaltung von 420 A, $\cos \varphi = 0,9$ bei einer Spannung von 420 V, 50 Hz

selbst gegenüber Spannungsspitzen und Wanderwellen, hervorgerufen durch Schaltvorgänge oder atmosphärische Entladungen, dar. Ein Überspannungsableiter, so wie hochwertige Isolation des gekapselten Fehlerstromwandlers (Abb. 9) mit einer Stoßspannungsfestigkeit von mehreren Kilovolt gewähren auch in dieser Richtung größte Betriebssicherheit.

Aus Tabelle I sind nochmals alle technischen Daten des kombinierten FI-FU- bzw. Nullungsschutzschalters ersichtlich.

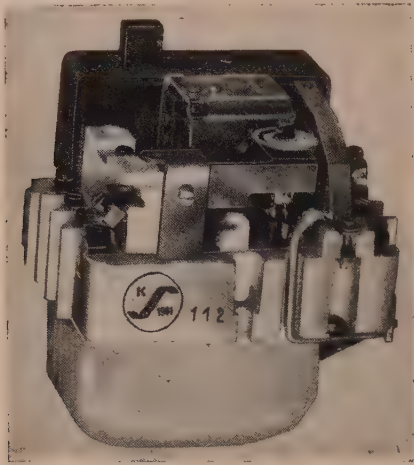


Abb. 9. Schutzschalter, offen, mit Wandleransicht

3) Zusammenfassung

Es wurden die Anwendungsmöglichkeiten eines völlig neuartigen Schutzschalters aufgezeigt; wobei die Hauptvorteile, nämlich doppelte Sicherheit durch getrennte FI- und FU-Auslösung, hohes Abschaltvermögen und die Einstellmöglichkeit der Auslösespannung bei Verwendung als Nullungsschutzschalter besonders erwähnt wurden. Das neue Gerät mit einem Auslösenennstrom von 0,5 A und einer Betriebsspannung von

220/380 V~ in vierpoliger Ausführung besitzt ferner vollkeramische Isolation, sowie einen Überspannungsableiter, wodurch größtmögliche Sicherheit gegenüber auftretenden Spannungsspitzen gewährleistet ist.

Tabelle I. Zusammenstellung der technischen Daten

Type	BDF 40
Nennstrom	40 A
Nennspannung	220/380 V~
Polzahl	3 + M
Kriech- und Luftstrecken nach ÖVE-A 60, Betriebsmittel nach Gruppe bzw. VDE 0110/7.50	C
FI-Auslösung Auslösenennstrom max. Erdungswiderstand gem. VDE 0100 bei Tierschutz gemäß ÖVE-E 40	0,5 A 130 Ω 48 Ω 64 Ω
FU-Auslösung Auslösespannung bei R _H = 200 Ω bei R _H = 600 Ω bei R _H = 800 Ω	Einstellbar 24 V bis 42 V 40 V bis 58 V 45 V bis 65 V
Auslösezeit ≤	0,1 s
Schaltvermögen bei U _N + 10 % Max. Schaltleistung (cos φ = 0,8) Max. Kurzschlußstrom (cos φ = 0,9) nach ÖVE-S 50/59	320 A 1 500 A
Max. Vorsicherung	50 A trag
Anschlußklemmen	16 mm ²
Schutzart	Pr 20 oder Pr 54

Rundschau

Elektrische Maschinen

DK 621.3.042 : 621.313.33

Die genauere Berechnung des Magnetisierungsstromes von dreiphasigen Asynchronmaschinen. Von K. OBERRETL, Zürich-Oerlikon.

Einer höheren Maschinenausnützung ist meistens durch die Blindleistung (cos φ) eine Grenze gesetzt. Eine genaue Durchrechnung des magnetischen Kreises zur Vermeidung von Engpässen ist daher wünschenswert und durch die Erzielung kleinerer Leistungsgewichte auch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus gerechtfertigt.

Nach einem Hinweis auf bereits bekannte Berechnungsmethoden wird im ersten Abschnitt die magnetische Charakteristik behandelt. Zur Berechnung der magnetischen Zahnspannung werden Korrekturfaktoren angegeben und darauf hingewiesen, daß die Berechnung von konischen Zähnen in ein Drittel Höhe bei hohen Induktionen oder starker Konizität unzulässig ist. Bei Zähnen unter 10 mm Breite ist im Gebiet unter 17 kG die Bearbeitung von Wichtigkeit. Durch den Stanzvorgang wird die Magnetisierbarkeit wesentlich verschlechtert. Mittels Glühen der gestanzten Magnetbleche kann der ursprüngliche Zustand wieder hergestellt werden. Kurven zeigen den Unterschied zwischen gestanzten und geglühten Blechen.

Die potentialtheoretische Berechnung des beidseitig gezahnten Luftspaltes bereitet Schwierigkeiten. Eine Analogiebetrachtung zwischen elektrischem und magnetischem Poten-

tialfeld eröffnet einen einfachen Weg zur exakten Messung der magnetischen Luftspaltspannung. Auf Grund entsprechender Messungen werden Kurven für den resultierenden Carterfaktor angegeben.

Die Berechnung der magnetischen Jochspannung des Stators wird nach eingehenden Betrachtungen auf den Grenzfall

$$\frac{\text{Rückenhöhe}}{\text{Polteilung}} \rightarrow 0$$

zurückgeführt, wofür die Berücksichtigung der Form des Luftspaltfeldes sowie der Jochentlastung durch Nuten und Zähne möglich ist. Bei der leerlaufenden Maschine wirkt ein Drittel der Nutenhöhe als entlastender, parallelgeschalteter Luftquerschnitt. Ein Berechnungsbeispiel zeigt den Einfluß der Zähne auf die Jochspannung; die Reduktion beträgt im allgemeinen etwa 10...30%.

Bezüglich der Rotorjochspannung wird auf eine andere Arbeit des Verfassers verwiesen (E und M, 76. Jg. [1959], S. 449).

Die Bestimmung der Feldkurve erfolgt mittels einer graphischen Konstruktion unter Berücksichtigung der magnetischen Jochspannung. Die Jochspannung bewirkt eine Streckung der magnetischen Charakteristik.

Der zweite Abschnitt behandelt den Magnetisierungsstrom bei Sternschaltung ohne Nulleiter. Hierbei wird von der Tatsache ausgegangen, daß der Stromverlauf bei Sternschaltung selbst bei hochgesättigten Maschinen von der Sinusform nur wenig abweicht. Die Rechnung kann daher

für einen beliebigen Augenblick durchgeführt werden. Die Hauptwelle des Luftspaltfeldes ergibt sich aus der Klemmenspannung (abzüglich der Spannungsabfälle), wenn beachtet wird, daß die infolge der Eisensättigung hauptsächlich auftretenden elliptischen Oberfelder mit der Polpaarzahl $3p$ zur verketteten Spannung keinen Beitrag liefern und wenn man vom Einfluß der Eisensättigung auf die übrigen, netzfrequenten Oberfelder der Einfachheit halber absieht. Die infolge der Eisensättigung entstehenden fremdfrequenten Oberfelder können wegen der meistens sehr kleinen Netzimpedanz ebenfalls keinen Spannungsbeitrag liefern; sie äußern sich nur in unwesentlichen Oberströmen.

Bei Maschinen mit kleiner Streuung kann der gesamte magnetische Kreis mit dem der Klemmenspannung entsprechendem Fluß durchgerechnet werden. Für den Fall großer Streuung werden Gleichungen angegeben, die die Streuflüsse der einzelnen Abschnitte abzuziehen gestatten.

An Zahlenbeispielen wird gezeigt, daß man sich zur Berechnung der Grundfeldamplitude auf die Grundwelle der Felderregung beschränken kann. Die ausschließliche Betrachtung der Grundwellenerregung rechtfertigt sich besonders für den Zustand der Belastung, da hier infolge der Ankerrückwirkung von einer bestimmten Form der Felderregung nicht mehr die Rede sein kann. Auch die Behandlung von Wicklungen mit ungleicher Polerregung (z. B. Bruchlochwicklungen) reiht sich damit in den normalen Berechnungsgang ein.

Ebenfalls an Zahlenbeispielen wird gezeigt, daß die magnetische Charakteristik mit einem Polygonzug durch vier Punkte bezüglich ihrer Bedeutung auf die Hauptfeldamplitude mit genügender Genauigkeit festgelegt werden kann. Damit läßt sich die Abplattung rechnerisch ermitteln. Zur bequemen Bedienung wird ein Abplattungsfaktor in Form eines Nomogrammes dargestellt, womit die magnetische Umlaufspannung und der Magnetisierungsstrom berechenbar sind.

Liegen für einen Blechschnitt einmal Messungen vor, dann ist eine Umrechnung auf verschiedene Eisenbreiten, Spannungen, Induktionen oder Wicklungen schneller und meistens genauer als jede Neurechnung. An Hand einfacher Formeln lassen sich die Meßwerte direkt umrechnen.

Bei der Dreieckschaltung hat die 3. Harmonische des Phasenstromes eine einachsige Erregung und damit Wechselfelder zur Folge. Dieser 3. Oberwellenstrom belastet die Wicklungen thermisch; nach außen hin wird er nicht beobachtet. Sein Beitrag zum Effektivwert des Phasenstromes beträgt in extremen Fällen bis zu 10%.

Die Blindleistung der in Dreieck geschalteten Maschine ist, wie zahlreiche Messungen ergeben haben, gegenüber der Sternschaltung nur um etwa 0...4% größer. Diese geringfügige Abweichung rechtfertigt die Beschränkung der Berechnung auf die einfachere Sternschaltung. Bei Käfigläufern ist der Unterschied besonders gering, meistens unter 1%.

Im Falle ungenügender Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung wird auf verschiedene mögliche Fehlerquellen hingewiesen: Abweichungen des Luftspaltes, Blechqualität, Bearbeitung, Art des Rotors, Kerben, Keile, Schweißnähte, Blechüberdeckung, Schichtung, Wirkstrom und Spannungsform.

(Bull. Oerlikon [1959], Nr. 335, S. 66...84, 25 Abb., 12 Qu.)

Regelungstechnik

DK 621.716.718.3 : 621.313.2 : 621-523

Regelung von Arbeitsmaschinen durch Gleichstrom-Tachometerdynamomaschinen. Von H. H. REINSCH, Berlin.

Zu den elektrischen Steuer- und Regelkreisen gehören verschiedene Elemente, die das Gesamtverhalten der Antriebe beeinflussen und Unregelmäßigkeiten oder Störungen

weitgehend ausschalten. Am Anfang und am Ende solcher Systeme treten meistens mechanische Größen auf. Sie sind für den präzisen Ablauf der Fabrikationsvorgänge und Antriebsaggregate wichtig. Ihre Sollwerte — beispielsweise für die Drehzahlen oder Bewegungen — werden in den meisten Fällen vom Menschen am Eingang einer solchen Steuerungs- oder Regelungskette als „Befehl“ genau eingestellt, also als Sollwert vorgegeben. Die mechanischen Werte werden in solchen Systemen in elektrische Werte umgewandelt, die über Schaltkontakte, verstellbare Widerstände, verstellbare Transformatoren oder Tachometergeneratoren elektrische Signalwerte weitergeben. Dabei ist meistens ein hysteresefreies, stetiges und sehr fein abgestuftes Übertragungsverhalten notwendig. Für die Erfüllung der Regelungsaufgabe ist also die Genauigkeit von entscheidender Bedeutung. Es kommt darauf an, daß die Regelungsgröße zunächst erst einmal genauestens erfaßt wird, um dann die Drehzahl, das Drehmoment oder eine mechanische Leistung einstellen und elektrisch umsetzen und weitergeben zu können. Die Drehzahlmessung eines Antriebes an der Welle ist mit geringem technischem Aufwand und hoher Präzision sowie Betriebssicherheit durch Gleichstrom-Tachometerdynamomaschinen möglich, die auch als Wechselstrommaschinen — neuerdings mit nachgeschalteten hochwertigen Halbleitergleichrichtern — eine präzise Festlegung der Drehzahl in Form einer Gleichspannung liefern. Auf diese Möglichkeit unter den verschiedenen Steuer- und Regelaufgaben soll besonders eingegangen werden.

Die Gleichstrom-Tachometerdynamomaschine ist ein ideales Übertragungselement von der Drehzahl zur Ausgangsspannung, weil schließlich die Zuordnung von Ein- und Ausgangsgröße mit großer Präzision und in weiten Bereichen streng proportional ist und beim Wert Null sich mit der Drehrichtung auch die Spannungsrichtung umkehren läßt.

Die Messung des Drehmomentes bei Antrieben ist sonst mechanisch meist nur unter erheblichen Schwierigkeiten möglich, da fast immer nur elastische Verdrehungen oder Dehnungen in mechanischen Übertragungsgliedern benutzt werden können, die schwer störungsfrei zu halten sind, besonders wenn Temperatureinflüsse vorliegen. Außerdem ergeben sich dann nur außerordentlich kleine elektrische Meßleistungen. In der Praxis der Groß- und Mittelantriebe hat man zwar versucht, für die Drehmomentmessung eine Abbildung der Drehmomentwerte durch den Ankerstrom der Motoren zu verwenden, aber dieses Verfahren setzt stets feste Werte der wirksamen Flüsse voraus und ist bei plötzlichen Änderungen der Drehzahlen nicht so präzise wie es notwendig wäre. Die kinetische Energie der umlaufenden Massen des Motorankers wird nicht berücksichtigt. Dagegen hat die Abbildung des Drehmomentes durch den Motorstrom weit mehr Genauigkeit und damit Vorteile, weil die Ströme rein elektrisch erfaßt und mit anderen Größen im Regelkreis — beispielsweise mit einer drehzahlabbildenden Spannung — ganz einfach verglichen, kombiniert und zusammengeschaltet werden können. Immerhin besteht die Möglichkeit, daß man durch mechanische, elektrische oder magnetische und andere Einflüsse in einen elektrischen Energiestrom eingreifen kann und der eingestellte Sollwert dann auch eingehalten wird.

Beispielsweise kann sich der Sollwert, der vorgegeben wurde, durch das Eingreifen der Strombegrenzung vom Istwert der Drehzahl um einen größeren Betrag unterscheiden und ein Befehl zum Bremsen würde dann erst ausgeführt werden, wenn das Nachlaufgerät oder der Integrator mit der eingestellten Geschwindigkeit den Istwert erreicht haben. Es tritt dann eine nicht gewünschte Nachbeschleunigung des Antriebes ein. Diese Nachbeschleunigung läßt sich mit einem Integrator dadurch vermeiden, daß im Moment der Strombegrenzung oder der Ankerumschaltung oder der Feldumkehr der Integrator auf die Spannung der Tachometermaschine entladen wird. Es folgt dann eine echte

Beschleunigungsregelung (Einstromrichterschaltung), also eine Parallelschaltung des Ankerstrom-Regelkreises zum Drehzahlregelkreis. Ein Beschleunigungsregler kann eingreifen, wenn die Beschleunigung beispielsweise den vorgegebenen Sollwert überschreitet, um den Fluß proportional zu machen. Der Istwert der Beschleunigung wird wieder durch eine Differenzierung der Tachometerspannung — beispielsweise über einen Differentialtransformator — gewonnen. Dieses Verfahren hat sich bisher besonders bei Umkehrwalzwerken, die stromrichtergespeist sind, bestens bewährt.

Ohne näher auf Einzelheiten einzugehen, sei ein weiteres Beispiel erwähnt: die Verwendung von Tachometerdynamomaschinen im Warmwalzwerk für Hilfsantriebe mit Gleichstrom. Sie werden meistens im Ankerbereich mit konstantem Drehstrom betrieben. Das Motorfeld des Arbeitsrollganges wird hier entweder aus einem gemeinsamen Erregergenerator für mehrere Antriebe gespeist oder es wird direkt aus dem Netz über Trockengleichrichter versorgt. Die Feldwicklung des Hauptgenerators ist an eine Erregermaschine angeschlossen zu denken und über Magnetverstärker wird nun die Feldwicklung der Erregermaschine gespeist und damit gleichzeitig die Spannung geregelt. Um die Polarität der Spannung der Erregermaschine ohne Umschalter umkehren zu können, erhält der Erregergenerator zwei getrennte Feldwicklungen und dafür gibt es zwei Schaltungen als anwendbare Möglichkeiten. Bei einer unsymmetrischen Erregung kann eine Grunderregerwicklung aus einem Hilfsnetz mit konstanter und eine zweite Wicklung mit veränderbarer Spannung über Magnetverstärker gespeist werden. Bei einer symmetrischen Erregung würden die beiden Erregerwicklungen über je einen Magnetverstärker an Spannung gelegt werden müssen. Die Führungsgröße in Form einer Gleichspannung kann mit Hilfe eines Steuerknüppels in diesem Falle — also je nach den vorliegenden Betriebsbedingungen und den sich daraus ergebenden Erfordernissen — eingestellt werden; bei Folgeregelung im automatischen Betrieb mit Gleichlauf zwischen den Arbeitswalzen und dem Rollgang würde aber die Führungsgröße von einer Tachometerdynamomaschine vorgeschrieben werden können, die an den Hauptantrieb gleich angekuppelt wird. Dann wird die Sollwertspannung gegen die Gleichspannung der Tachometermaschine am Rollgangmotor geschaltet und nun die Differenz gleich dem ersten Regler für die Drehzahl zugeleitet, denn die Stellgröße dieses Reglers bildet wiederum den Sollwert für den folgenden Stromregelkreis. Erfolgt die Drehzahlregelung nach dem Contiflux-Verfahren als Arbeitsrollgang, so kann auch in diesem Fall die Stromrichterschaltung durch Eingefäßspeisung mit Feldumkehrsteuerung erfolgen, um eine besonders gute Führung des Drehmomentes beim Reversieren herbeizuführen. Die Feldwicklung wird bei kleineren Leistungen über Thyratrons in Kreuzschaltung gespeist; bei größeren Leistungen liegt das Feld an einem sechsanodigen pumpenlosen Stromrichter und je drei Anoden werden für die beiden Feldstromrichtungen von einem Gittersteuersatz in Sonderschaltung je nach der gewünschten Drehrichtung des Motors gesteuert. Die Regelung kann mit Magnetverstärkern, aber ebenso gut auch mit elektronischen Mitteln erfolgen.

Handelt es sich beispielsweise um einen Fördermaschinenantrieb, für den eine Transistorregelung vorgesehen ist, so können zwei getrennte Stromregelkreise aufgebaut werden, und zwar in sehr einfacher Weise. Die Kreisstromregelung wird ohne weiteres beherrscht, denn die Stromsollwerte werden einem Drehzahlregler entnommen und dieser erhält seine Istwertmeldung von einer Tachometerdynamomaschine und seine Sollwertmeldung von einem Hochlaufregler, dem die Aufgabe einer Beschleunigungsbegrenzung zufällt. Der Drehzahlregelkreis der Fördermaschine besteht aus dem Fördermotor mit Speisequelle (Stromrichter oder Leonard-Umformer) als Regelstrecke, dem

Tachometergenerator mit Übersetzungsgetriebe als Istwertbildner, dem Sollwert-Istwert-Vergleich und dem Endverstärker.

Für die Gleichstrombremsung von Drehstrom-Fördermaschinen wird über die Steuerwalze mit dem Steuerhebel zu Beginn des Bremsvorganges der Motor vom Netz getrennt und die Gleichstrombremsung eingeschaltet. Dazu muß der Motor zweiphasig an die Ausgangsklemmen eines magnetischen Verstärkers gelegt werden. Der sich nun ausbildende Strom baut dann ein im Raum feststehendes magnetisches Feld auf, in dem sich ein Läufer dreht, wodurch an den Schleifringen eine Spannung entsteht. Werden die Läuferwiderstände angeschlossen, fließt ein Strom und die sich in Wärme umsetzende Energie entstammt der Bewegung der Maschine. Die Bremsung erfolgt nun. In diesem Falle ist es zweckmäßig, die Gleichstrombremsung zu einem Regelkreis einfachster Art für die Drehzahl auszubauen und dann mit dem Steuerhebel über einen induktiven Geber den Sollwert, über eine Tachometermaschine aber den Istwert zu geben. Der Vergleich zwischen beiden erfolge in einem magnetischen Vorverstärker. Man kann aber auch zwei in der Funktion sich ablösende Regelkreise — einmal den für den Betrieb „Bremsen“, mit einem induktiven Geber für den Sollwert, dann die Tachometermaschine für den Istwert — mit magnetischem Vorverstärker und Endverstärker für die Gleichstromeinspeisung über ein Ständerschütz verwenden. Dann müßte für den Betrieb „Treiben“ ein Sollwertgeber, die Tachometermaschine mit magnetischem Vorverstärker und Tauchpulenregler als Endverstärker, vorgesehen werden.

In stromrichtergespeisten Antrieben für durchlaufende Walzenstraßen erfolgt die Drehzahlregelung vielfach über den Ankerstromkreis. Motor, Stromrichter und Gittersteuergerät sind die erforderlichen Aggregate.

Bei Mehrmotorenantrieben müssen selbstverständlich mehrere Tachometerdynamomaschinen zur Anwendung kommen. In diesem Falle müssen stets drei Probleme gelöst werden:

1. die Erzeugung und Verteilung der Führungsgrößen;
2. die Verteilung der Antriebsenergie;
3. die Bildung der Meßgröße aus geeigneten Informationsgrößen.

Da nun jeder Antrieb für sich einen Regler haben muß, werden auch so viele Führungsgrößen verwendet wie Antriebsmotoren vorhanden sind, und als Schaltungsarten kommen entweder die Folgeregelung oder die zentrale Verteilung der Führungsgrößen in Betracht.

Die Folgeregelung erfordert nun beispielsweise ein Normalspannungsgerät mit einer Spannungskonstanz, das die Speisespannung liefert für den Sollwerteinsteller „Drehzahl-Niveau“, und die gewonnene Leitspannung als Führungsgröße wird aus dem Sollwerteinsteller gewonnen und hineingegeben. Die Führungsgröße für den Regler des dann nachfolgenden Antriebs wird von der Meßgröße der Leitmaschine abgeleitet. Aber alle in Betracht kommenden Meßwertbildner müssen durch eine Tachometermaschine vertreten werden. Das Kennzeichen dieses Verfahrens ist die Kettenschaltung: jeder Regler des nachfolgenden Antriebs bezieht darin seine Führungsgröße von der Meßgröße des vorangehenden Reglers und die Tachometerdynamomaschinen dienen sowohl zur Bildung der Meßgröße für den eigenen Regelkreis als auch für die Führungsgröße des folgenden. Da der Vergleich der Meß- und der Führungsgröße und der Meßgröße entsprechende Polarität besitzen, erfolgt dieser durch eine Brückenschaltung. Die notwendigen Voraussetzungen aber werden durch Doppeltachometermaschinen vollkommen erfüllt, die dann zwei getrennte Gleichspannungen abgeben. Erwähnt sei ferner, daß auch die zentrale Verteilung der Führungsgröße günstig ist, in der ebenfalls bei Mehrmotorenanwendung und -schaltung mehrere Tachometerdynamomaschinen zur Anwendung kommen. Auch der

Mehrmotorenantrieb in Parallelschaltung mit Ankerspannungsregelung des Leonardgenerators läßt sich mit Hilfe mehrerer Tachometerdynamomaschinen vorteilhaft durchführen, wie auch die Parallelschaltung mit Ankerspannungsregelung über den Feldstrom oder der Mehrmotorenantrieb in Blockschaltung.

Erwähnt sei ferner der Antrieb von Arbeitswalzen, beispielsweise in Kalandern. Hier wird die Drehzahl mit Tachometermaschinen gemessen und über einen Sollwerteinsteller am Schaltpult an die einzelnen Motoren weitergegeben.

Werden viele Walzen durch mehrere Motoren angetrieben, kommt eine Leittachometermaschine zur Verwendung, die mit einem der vier nachgeschalteten Motoren gekuppelt wird. Die Generatorspannung wird so geregelt, daß der konstant erregte Motor die am Sollwerteinsteller vorgegebene Drehzahl hat, und die Drehzahlen der anderen Motoren werden im Feld auf Gleichlauf- bzw. die eingestellte Friktion geregelt. Da die nachgeschalteten Motoren kleiner als der Hauptmotor sein können, haben sie einen eigenen Generator und für diesen dient die Spannung der Tachometerdynamomaschine als Sollwert. Als Regler lassen sich auch in diesem Falle elektromechanische, elektronische und magnetische Regelgeräte einsetzen. Werden Magnetverstärker zur Anwendung gebracht, so darf der aus der Leit- und der Motortachometermaschine bestehende Meßkreis nur wenig belastet werden, weil es sonst vorkommen kann, daß der an der Leittachometermaschine auftretende, vorübergehende Spannungsabfall die Drehzahl der übrigen Antriebsmotoren ändert und eine Laständerung an einer Walze dann sämtliche Antriebe beeinflussen könnte. Werden die Verstärker durch Friktionspotentiometer entsprechend der erforderlichen Leitdrehzahl gesteuert, so erfolgt die Friktionsregelung auch durch den Vergleich der Tachometermaschinenspannungen.

Automatisierung

DK 629.13.01 : 658.564

Das APT-System der automatischen Programmierung der Werkzeugführung im Flugzeugbau

Die automatische Herstellung von Metallteilen durch Leitung des Bearbeitungsgangs mittels zahlenmäßiger Eingaben in den Steuermechanismus der Werkzeugmaschinen wird heute in den USA bereits in zahlreichen Fabrikationsbetrieben angewendet, und Ansätze zur automatischen Programmierung der Werkzeugführung an Stelle der manuellen Programmherstellung mittels Pultrechnern sind bereits vorhanden. Das kürzlich im „Massachusetts Institute of Technology“ (MIT), dem Verband der amerikanischen Flugzeugindustrien und den Vertretern der amerikanischen Luftwaffe vorgeführte APT-System der automatischen Programmierung der Werkzeugführung (APT = automatically programmed tool) verkörpert hier einen bahnbrechenden Fortschritt, indem es vermittels einer einfachen, für den Elektronenrechner lesbaren Stilisierung des Bearbeitungsgangs die automatische Detailprogrammierung in einem hochschnellen Spezial-Elektronenrechner bewirkt und neben einem gewaltigen Zeitgewinn die Führung des Bearbeitungsgangs komplizierterer Stücke durch Personen ermöglicht, die über keine Kenntnisse über Elektronenrechner verfügen. Das neue System wurde in zweijähriger Arbeit im Servomechanismen-Laboratorium des „Massachusetts Institute“ in enger, erstmalig so weitgespannter Zusammenarbeit mit dem 19 Firmen umfassenden Verband der amerikanischen Flugzeugindustrien (Aircraft Industries Association, AIA) und dem Materialkommando der amerikanischen Luftwaffe (U.S. Air Force Air Material Command, AMC) entwickelt.

Aufgebaut ist das System auf einer verhältnismäßig einfachen Abfassung der Arbeitsanweisungen, die in Form von Abkürzungen aus der englischen Umgangssprache entwickelt ist. Die in diesem „Telegrammstil“ verfaßten Weisungen

können in dieser Form direkt in einen besonders eingerichteten APT-Elektronenrechner eingegeben werden. Mit Hilfe eines besonderen Satzes von „Leitkarten“ führt dann der APT-Rechner die komplizierten Berechnungen für die detaillierte Führung des Werkzeugs aus, und gibt dann das detaillierte Programm für die Führung des Werkzeugs in Form eines gelochten Bandes von sich, das in den Steuermechanismus der Werkzeugmaschine eingeführt wird und die vollautomatische Herstellung des Werkstücks steuert.

Diese „Telegramsprache“ enthält als Grundprogramm die systemisierte Lösung des Problems der Führung eines Werkzeugs im Raum und kann für jede besondere Anwendung durch die Schnittanweisungen für jede in Betracht kommende Fläche ergänzt werden. Sie ist so erdacht, daß sie erstens eine standardisierte Anwendungsweise im ganzen Flugzeugbau und der Herstellung der Ferngeschosse ermöglicht, und zweitens der künftigen Erweiterung zwecks Einbeziehung noch komplizierterer Ausführungsformen und der weiteren Einschränkung menschlicher Mithilfe fähig ist.

Den bahnbrechenden Fortschritt in der Programmierung komplizierter Ausführungsformen zeigt das Beispiel einer Flügelrippenform, deren Herstellung bei manueller Programmierung 200 Arbeitsstunden erforderte und die jetzt mit dem APT-System nur fünf Arbeitsstunden braucht.

Bei der anfänglichen Erprobung des APT-Systems in der gesamten Flugzeugindustrie standen den Firmen des Verbands der Flugzeugindustrie (AIA) ein Satz von 8 000 Elektronenrechner-Lochkarten und 200 Seiten an Vordokumentation zur Verfügung. Die ersten Programme und die darauf folgenden waren auf den Elektronenrechner IBM-704 als das verbreitetste Gerät zugeschnitten. Jedoch wurde festgestellt, daß auch Elektronenrechner mittlerer Größe und selbst kleinere Geräte das APT-System benützen können.

Die Fabrikationsprogramme der amerikanischen Rüstungsindustrie erfordern die zeitige Freigabe von APT-Dokumentation durch das „Massachusetts Institute of Technology“. Diese Dokumentation, die an alle 19 Firmen der AIA, einen großen Teil der Industrie, die Forschungsorganisationen usw. ausgegeben werden soll, wird voraussichtlich sechs getrennte Bände mit insgesamt über 600 Seiten Text, Diagramme und Tabellen umfassen. Spätere Ergänzungen und Berichtigungen werden gegen einen Unkostenbeitrag beim Bureau Los Angeles der AIA erhältlich sein¹⁾.

Die Vorteile des APT-Systems stehen nunmehr zur Auswertung im großen Maßstab durch die Hersteller von Werkzeugmaschinen, die elektronische Industrie und die amerikanische Industrie im allgemeinen zur Verfügung. Mit dem jetzigen APT-System ist eine bedeutende Anzahl der derzeit erzeugten Flugzeugteile usw. herstellbar. Die Notwendigkeit manueller Programmierung ist noch nicht vollständig ausgeschlossen; die gänzliche Ausscheidung jeder manuellen Programmierung ist derzeit Gegenstand eingehender Untersuchungen.

M. CYBULZ

(Electrical Engineering, Vol. 78 [1959], Nr. 6, S. 213.)

¹⁾ Technical Service, Aircraft Industries Association, 7660 Beverly Blvd., Los Angeles, California, USA.

Elektrische Installationen

DK 621.316.923 : 621.316.34

Möglichkeiten der Verbesserung elektrischer Verteil- und Zähleranlagen in Hausinstallationen. Von J. STIEGER, Zürich.

Die industrielle Entwicklung hat auf dem Gebiet der elektrischen Verteil- und Zähleranlagen nicht jene beispiellosen Fortschritte gemacht, die für die meisten übrigen Gebiete der Technik in den letzten Jahrzehnten kennzeichnend sind. Der Grund für diese verzögerte Entfaltung dürfte in der Tatsache zu suchen sein, daß es sich bei elektrischen

Verteil- und Zähleranlagen in Hausinstallationen um ein Fachgebiet handelt, in welchem von der Industrie gebaute Einzelteile vom Gewerbe in individuellster Vielfalt einzusetzen sind. Die üblichen Lösungen vermochten wohl technisch in den meisten Fällen zu befriedigen. Wegen der arbeitsintensiven gewerblichen Bauweise genügten sie aber

friedigen. Eine industrielle Vorfabrikation von Baueinheiten kann nur von Erfolg begleitet sein, wenn sie folgenden Forderungen gerecht wird:

1. Die in bezug auf Sicherheit von Personen und Sachen (Brandgefahr) geltenden Bedingungen müssen von der ganzen Baueinheit erfüllt sein.

2. Die Baueinheiten müssen konstruktive Lösungen darstellen, die rationelle Herstellung und einfache Montage gestatten und sich für Änderungen und Erweiterungen eignen.

3. Durch differenzierte Bauarten ist den Bedürfnissen Rechnung zu tragen, die sich in der Praxis als typisch erwiesen haben (städtische und ländliche Verhältnisse, Geschäfts- und Wohnhäuser).

4. Den an moderne Bauten in bezug auf Formschönheit gestellten Ansprüchen muß Genüge geleistet werden.

Die gegenwärtige Entwicklung im Bau von Verteil- und Zähleranlagen läuft auf zwei typische Bauarten hinaus, die sich im wesentlichen durch die Art der industriellen Vorfabrikation unterscheiden: die Verwendung von Vertikal-Sicherungsblöcken und den Einbau von vorfabrizierten Verteil- und Zählerkästen.

Vertikal-Sicherungsblöcke sind Bauelemente, in welchen drei Sicherungselemente und ein Klemmenblock auf einer gemeinsamen Grundplatte vertikal übereinander angeordnet sind. Eine eigentliche Montagetafel wird nicht benötigt. Die Abgänge der drei Elemente sind intern über Kupferprofile auf den Klemmenblock geführt, d. h. die Verdrahtung erfolgt bereits in der Fabrik. Die nebeneinander aufgereihten Sicherungsblöcke werden durch einen Speiseblock über horizontale Sammelschienen gespeist. Geringe Drahtquerschnitte (bis 6 mm²) können auch direkt an den Eingangsklemmen der Sicherungen angeschlossen werden, wodurch sich ein Speiseblock erübrigt. Die vom

Installateur auszuführende Verdrahtung beschränkt sich auf die Verbindung des Zählers mit dem Speiseblock und das Anschließen der abgehenden Leitungen an die Klemmenblöcke. Die Vertikal-Sicherungsblöcke gestatten die nötigen Schaltungen für Drehstrom und für einpolige Gruppen, je

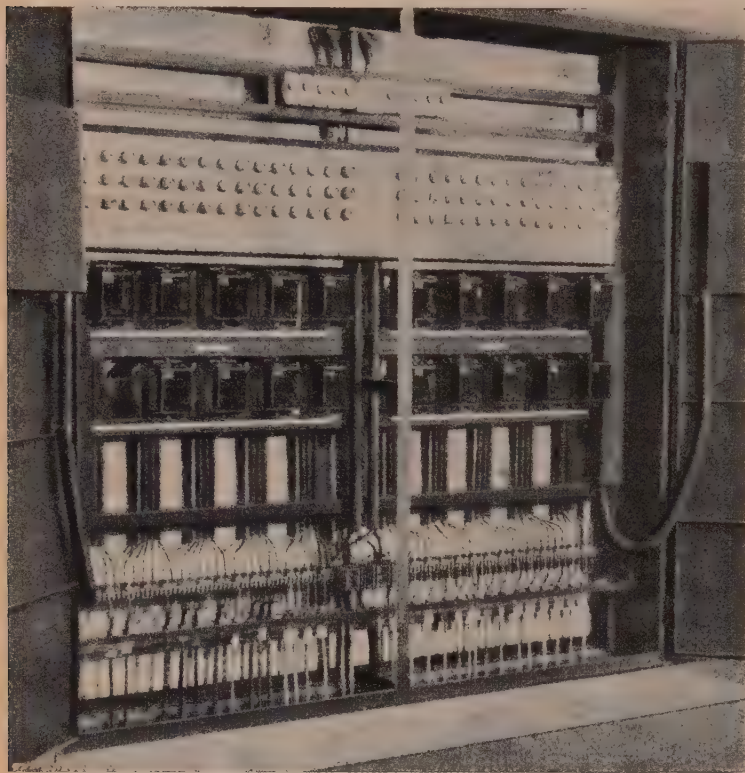


Abb. 1. Größere Verteilanlage, aufgebaut aus Vertikal-Sicherungsblöcken Kreuzungsfreie Leiteranordnung

oft den wirtschaftlichen Ansprüchen nicht; auch die zunehmenden ästhetischen Anforderungen wurden nicht immer erfüllt.

Die in den Anfängen der Energieverteilung übliche Bauart, Sicherungen und Zähler in Hausinstallationen direkt auf Wände oder auf Holzbretter zu montieren, wurde sehr bald abgelöst durch den Aufbau der Bauelemente auf Marmor- und später Eternittafeln. Das Typische an der Entwicklung bestand darin, daß richtigerweise die Fragen des Schutzes von Personen und Sachen in den Vordergrund gestellt wurden. Der Berührungsschutz wurde verbessert und die Brandsicherheit erhöht. Die verwendete rückseitige Verdrahtung hatte jedoch den großen Nachteil der Unübersichtlichkeit. Vor allem hatte aber auch diese verbesserte herkömmliche Bauart den wirtschaftlich bedeutenden Nachteil, daß sie einen relativ hohen Aufwand an qualifizierter Facharbeit erforderte.

Die intensive Bautätigkeit der Nachkriegsjahre, der Mangel an Fachleuten und die Forderung nach höheren Löhnen bei kürzerer Arbeitszeit brachten den Wunsch, der gewerblichen Fertigung durch industrielle Vorfabrikation oft wiederkehrender Kombinationen von Schalttafel-Bauelementen Arbeit abzunehmen. Dabei bieten sich für den Zusammenbau zwei Möglichkeiten, jene durch den Installateur an Ort und Stelle oder jene durch spezielle Montagewerkstätten, die von den Herstellerfirmen eigens geschaffen wurden, um individuelle Kundenwünsche zu be-

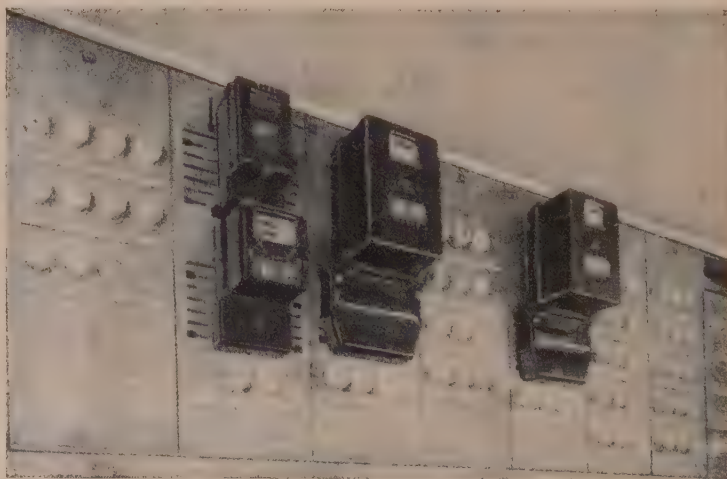


Abb. 2. Hauptverteilanlage, aufgebaut aus vorfabrizierten Normeinheiten (Gardyn-te-System)

mit Pol-, Null- und Schutzleiter. Sie vermögen sämtlichen Ansprüchen in bezug auf Sicherheit, rationellen Einbau und Ästhetik zu genügen. Sie eignen sich insbesondere in Einfamilienhäusern, für die Energieverteilung in Stockwerken

von Mehrfamilienhäusern (Abb. 1) und für Drehstrom-Verteilssysteme in Industrie-Anlagen, ferner auch in Sicherungsverteilkasten, wie sie z. B. auf Baustellen und Ausstellungen in zunehmendem Maße verwendet werden.

Vorfabrizierte Verteil- und Zählerkasten sind geschlossene Blechkonstruktionen aus genormten Elementen, die in der Regel von speziellen Montagewerkstätten der Herstellerfirmen nach den Angaben des Bestellers zusammengebaut, mit den Bestandteilen der Verteilanlage ausgerüstet und auf Wunsch auch verdrahtet werden. Sie bieten die Möglichkeit, Zähler, Schaltuhren usw. zusammen mit den Verteilelementen auf genormten Tafeln zu montieren. Die Aufgabe des Installateurs beschränkt sich bei schon erfolgter Verdrahtung auf die Befestigung des Kastens und den Anschluß der ankommenden und abgehenden Leitungen. Mit vorfabrizierten Verteil- und Zählerkasten lassen sich alle in der Praxis auftretenden Bedürfnisse erfüllen. Abb. 2 stellt z. B. eine typische Industrie-Verteilanlage dar. Auch die Bauweise mit vorfabrizierten Kasten erfüllt selbstverständlich alle sicherheitstechnischen Anforderungen. Ihr Hauptvorteil beruht darin, daß sich die Arbeit des Installateurs je nach Wunsch auf ein Minimum zurückführen läßt. Die genormten Abmessungen erleichtern dem Architekten die Planung, und der Aufbau auf den offen und versenkbar zu verwendenden Tafeln erhöht die Übersichtlichkeit.

(Bull. SEV., Bd. 50 [1959], Nr. 26, S. 1 279 ... 1 283, 5 Abb., 6 Qu.)

Nachrichtentechnik

DK 621.314.7 : 621.375.4

Der Transistor revolutionierte die Funktechnik. Von H. ANDERS, Ludwigshafen.

In einem Roman von HANS DOMINIK, in den zwanziger Jahren geschrieben, besitzt eine der Hauptpersonen der dort geschilderten utopischen Begebenheit einen winzig kleinen Sender, mit dem sie sich über Tausende von Kilometern hinweg mit ihren Partnern verständigt. Dieser Sender enthält nicht die zu Lebzeiten von Dominik schon längst bekannten Röhren, sondern — wie Dominik schreibt — „Kristall-Verstärker“.

Diese Vision Dominiks, die jeder Physiker und Techniker, der damals diese Zukunftsromane las, in das Reich der Phantasie verwies, wurde vor rund elf Jahren Realität. Am 26. Juni 1948 meldete ein amerikanischer Ingenieur, Dr. WILLIAM SHOCKLEY, in den Vereinigten Staaten ein Patent an, das eine „feste, leitende, elektrische Vorrichtung unter Verwendung von Halbleiterschichten zur Steuerung elektrischer Energie“ zum Inhalt hatte. Heute ist diese Erfindung unter dem Namen Transistor in weiten Kreisen bekannt. Transistor — das bedeutet: Schwerhörigengeräte, ganz leichte Rundfunkempfänger, Bestückung der Miniatursatelliten usw. Ohne Zweifel sind es die Eigenschaften „klein“ und „leicht“, die den Siegeszug des Transistors in der Technik begründeten.

Schon im Laufe der zwanziger Jahre wurden Stoffe untersucht, die weder als typische Metalle, also gute Leiter der Elektrizität, noch als Isolatoren anzusprechen waren. Diese Stoffe, unter denen damals das Selen der bekannteste war, wurden Halbleiter genannt. Tatsächlich fand auch der Halbleiter Selen schon Ende der zwanziger Jahre Anwendungen, die sich schwerlich in das Bild der klassischen Elektrizitätslehre einordnen ließen. Es waren das der Selen-Gleichrichter und das ebenso berühmte Selen-Photoelement, welche durch ERNST PRESSLER bzw. ERWIN FALKENTHAL technisch gestaltet wurden. Die Wirkungsweise weder des Gleichrichters noch des Photoelements läßt sich von der üblichen Elektrizitätslehre her erklären. Es mußten neue Vorstellungen hinzugenommen werden, die hauptsächlich während des zweiten Weltkrieges und in den Jahren nach

diesem Kriege auch experimentell unterstützt werden konnten.

Hier war es nun das chemische Element Germanium, das in außerordentlicher Reinheit hergestellt werden konnte, so daß saubere Experimente den merkwürdigen Mechanismus der Elektrizitätsleitung zu erforschen gestatten. Dabei trat viel deutlicher als zuvor in der Halbleiterforschung die Tatsache zutage, daß es neben der sogenannten klassischen Elektrizitätsleitung durch freie Elektronen auch noch eine andere Elektrizitätsleitung gibt, nämlich dadurch, daß in einem festen Körper sich auch unfreie Elektronen bewegen können, in dem sie einen benachbarten Platz einnehmen, der zufälligerweise frei ist. Um einen Vergleich heranzuziehen: Ein Kinobesucher kann sich durch eine Reihe von Kinostühlen frei bewegen, wenn alle anderen Besucher dieser Reihe sich gleichzeitig in derselben Richtung bewegen. Das würde der Bewegung von freien Elektronen in Metallen entsprechen. Der gleiche Kinobesucher kann aber auch dadurch einen Platz finden, daß viele Besucher nacheinander einen ursprünglich freien Platz in der Mitte der Reihe auffüllen, so daß sich die Platzlücke bis an das Ende der Sitzreihe verschiebt. Auch hier bewegen sich Menschen durch die Sitzreihe. Man kann es aber auch so ausdrücken, daß sich gewissermaßen der leere Sitzplatz, das „Loch“, nach der anderen Richtung hin bewegt. Eine ähnliche Erscheinung kann nun in Halbleitern auftreten, und man spricht in diesem Falle von einer sogenannten „Löcherleitung“.

Das interessante Phänomen ist also, daß es in Halbleitern zwei verschiedene Mechanismen von Elektrizitätsleitung gibt: eine metallähnliche und eine, die typisch für Halbleiter ist. Durch Kombination lassen sich dann derartige Gebilde wie der vorhin genannte Gleichrichter und das Photoelement herstellen.

Der von Shockley vor zehn Jahren erfundene Transistor bedeutet einen Schritt weiter in dieser Richtung. Im Transistor sind drei verschiedene Halbleiter miteinander vereint, wobei die elektrischen Vorgänge, die sich in zwei Halbleiterteilen abspielen, sich auf den dritten Halbleiterteil auswirken. Unter Ausnutzung dieses damals neuartigen Effektes war es möglich, ein technisches Gebilde zu erdenken, das ähnlich funktioniert wie eine Elektronenröhre, der bis dahin typische Bestandteil jedes Verstärkers, Rundfunksenders und -empfängers. In dieser Konzeption liegt die geniale Idee von Shockley.

Technisch realisiert wurde der Transistor ebenfalls durch zwei Amerikaner, durch J. BARDEEN und W. H. BRATTAIN, welche den sogenannten Spitzentransistor schufen, der in der Anfangszeit der Transistortechnik eine große Rolle spielte. Je besser jedoch die Experimental-Physiker und -Chemiker es verstanden, die Halbleiter technologisch zu beherrschen, desto leichter konnte auf die alte Idee von Shockley zurückgegriffen werden, der schon in seinen ersten Veröffentlichungen von einem sogenannten Flächentransistor sprach, in welchem die vorhin genannten drei Halbleiter flächenhaft aneinandergrenzen. Heute spielt praktisch nur dieser Flächentransistor eine Rolle.

So interessant auch physikalisch der Transistor ist, so liegt seine Bedeutung doch überwiegend in seinen technischen Eigenschaften. Gegenüber der Elektronenröhre zeichnet sich der Transistor zunächst durch seine kleine Bauform aus. Ein Kristall von wenigen Kubikmillimeter Inhalt ist heute das übliche Maß für den eigentlichen Transistor. Daß er äußerlich tatsächlich etwas größer ist — in der Miniaturform wenige Millimeter im Durchmesser und etwa sechs Millimeter lang — beruht darauf, daß dieser äußeren Einflüssen gegenüber sehr empfindliche Kristall in ein Gehäuse der genannten Abmessungen eingebettet wird. Genauso wichtig wie die geringen Abmessungen des Transistors ist auch die Tatsache, daß der Transistor — im Gegensatz zur Röhre — keine Heizung benötigt, wodurch erheblich am

Stromversorgungsteil, bei tragbaren Geräten also an Batterien, gespart werden kann.

Die Industrie stellt in neuerer Zeit Transistoren her, deren Frequenzgrenze so hoch liegt, daß sie im UKW-Bereich eingesetzt werden können. Es kommen also auch Koffergeräte für das Ultrakurzwellen- und Kurzwellengebiet auf den Markt, die ebenfalls voll transistorisiert sind.

Man kann aber keineswegs behaupten, daß der Transistor die Röhre in allen Teilen ersetzen wird. So schränkt z. B. die starke Abhängigkeit der Eigenschaften des Transistors von der Temperatur — ein allgemeines Phänomen der Halbleiter — seine Benutzung ein, so daß die Röhre nach wie vor bestimmte Felder behaupten wird. Andererseits hat sich herausgestellt, daß der Transistor schon wegen seiner kleinen Bauform Aufgaben erfüllen kann, die mit der Röhre nicht lösbar sind, z. B. Schwerhörigengerät in Brillenform, oder nur auf äußerst umständliche Art gelöst werden können, z. B. drahtloses Mikrophon. Schließlich eröffnet die Tatsache, daß man komplementäre Transistoren so bauen kann, daß man jeweils löcherleitende Schichten durch elektronenleitende Schichten ersetzt, neue Möglichkeiten zur Lösung elektronischer Schaltaufgaben auf einfache Art. Die stetigen Fortschritte bei der Transistorfertigung werden dem Transistor ein immer weiteres Eindringen in die Elektronik ermöglichen.

Mit der letzten technischen Neuheit wurde jetzt die Polizei in Tokio ausgerüstet: Transistor am Koppel in einem schwarzen Täschchen und unsichtbarer Antenne im Schulterriemen. Auf ein Tutzeichen braucht der Polizist nur eine kleine Hörkapsel in das Ohr zu stecken, um die Befehle der Zentrale entgegennehmen zu können.

Nachrichten aus Industrie, Gewerbe und Wirtschaft

DK 621.316.722 + 621.317.333 + 536.531.001.4 + 621.317.733

Neue Norma-Apparate

Bei der Deutschen Industrie-Messe in Hannover hat die Firma Norma folgende Apparate gezeigt:

1) Präzisions-Gleichspannungskonstanthalter

Die Präzisions-Gleichspannungskonstanthalter mit einer Stabilität der Ausgangsspannung von weniger als $\pm 0,01\%$ bei Änderung der Netzspannung um $\pm 10\%$, sind als hoch-



Abb. 1. Präzisions-Gleichspannungskonstanthalter

konstante Gleichspannungsquellen für Kompensations-Meßeinrichtungen und für ähnliche Apparate, ferner für Fotometerlampen, für Elektrometerschaltungen u. dgl., für alle in Laboratorien und Betriebsstellen vorhandenen Messungen geeignet.

Der regelbare Spannungsbereich der Ausführung Mod. 459 RN ist 100 ... 321 V, der Spannungsbereich der Ausführung Mod. 459 RH 200 ... 821 V Gleichspannung, je für den maximalen Ausgangsstrom von 0,3 A.

Beiden Geräten liegt folgende Schaltung zugrunde: Eine Anzahl parallel geschalteter Leistungsröhren wird von einer

Steueröhre so beeinflusst, daß die an den Ausgangsklemmen auftretende Spannung unabhängig von Schwankungen der Speisespannung und unabhängig von Änderungen der Belastung konstant gehalten wird. Zu diesem Zweck wird eine, der Ausgangsspannung entnommene Teilspannung mit der Brennspannung eines Glimmstabilisators verglichen und die Differenzspannung dem Gitter der Regelröhre (Rückwärtsregelung) zugeführt. Dieses Gitter wird außerdem von der am Siebkondensator auftretenden Spannung (Vorwärtsregelung) beeinflusst.

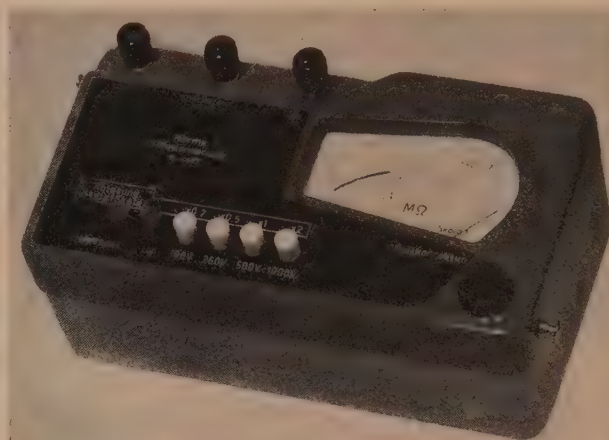


Abb. 2. Isolationsmesser

2) Isolationsmesser

Zur Messung des Isolationswiderstandes stromloser Leitungen, Anlagen, Maschinen, Apparate usw. werden volltransistorisierte Isolationsmesser mit Druckknopfbedienung, und zwar Mod. 667 für die Meßspannung 100 ... 250 ... 500 bis 1 000 V, mit den Meßbereichen 0 ... 50 M Ω und 5 bis 5 000 M Ω , und Mod. 668 für die Meßspannung 100 ... 2 500 bis 5 000 V, mit den Meßbereichen 0 ... 500 M Ω und 50 bis 50 000 M Ω , hergestellt.

Bei Meßströmen bis zu 1 mA unterschreitet die Spannung am Meßobjekt nicht 80 % des Nennwertes. Als Spannungs-



Abb. 3. Thermobrücke

quellen dienen bei der Ausführung Mod. 667 zwei Flachbatterien mit je 4,5 V, bei der Ausführung Mod. 668 zwei Ni-Cd-Akkumulatoren zu 6 V, 0,9 Ah. Im letzteren Gerät ist ein Ladegerät eingebaut.

Die Abmessungen des abgebildeten Isolationsmessers, Mod. 667, sind: 220 \times 115 \times 130 mm, die des Mod. 668 (für Meßspannungen bis 5 000 V): 400 \times 320 \times 160 mm.

3) Thermobrücke

Widerstandsthermometer werden außer zur Messung niedriger Temperaturen in den letzten Jahren immer mehr auch für höhere Temperaturen bis etwa 1000 °C verwendet. In ähnlicher Weise, wie dies bei Thermoelementen der Fall



Abb. 4. Wheatstone-Thomsonbrücke

ist, bei Widerstandsthermometern, die bei höheren Temperaturen in Verwendung stehen, die gelegentliche oder je

nach vorhandenem Medium auch die öftere Nachprüfung notwendig.

Die Thermobrücke, Mod. 318, gestattet die genaue und rasche Messung und Nachprüfung von Widerstandsthermometern (Pt 100, Ni 100, Pt 250, Ni 250 u. a.) bei Raumtemperatur und im Betriebsfall bei vorgeschriebener Strombelastung; den Vergleich zweier Widerstandsthermometer zur Aufnahme von Korrekturwerten bereits in Betrieb gestandener Thermometer, die Feststellung der Größe des Temperaturgefälles an verschiedenen Meßorten einer Wärmeanlage, ferner die Prüfung der Temperatur-Meßanlagen mit Widerstandsthermometern und Kreuzspulgeräten unter Berücksichtigung der Zuleitungs-, Abgleich-, Prüf- und Ersatzwiderstände.

Die Genauigkeit der Meßbrücke ist in dem für die Prüfung von Widerstandsthermometern in Betracht kommenden Bereich $\pm 0,1\%$.

4) Wheatstone-Thomsonbrücke

Widerstände von Kabeladern, Drähten, Stäben, Seilen, Transformator- und Motorwicklungen, Vor- und Nebenzwischenstände von Meßgeräten und Zählern, Widerstandsspulen usw. werden im Bereich von etwa $1\ \Omega \dots 1\ M\Omega$ in der Wheatstone-Brückenschaltung, im Bereich von etwa $1\ \mu\Omega$ bis $10\ \Omega$ in der Thomsonbrückenschaltung mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1\%$ mit der Meßeinrichtung, Mod. 357, gemessen.

Norma, Fabrik elektrischer Meßgeräte GmbH
Wien XI, Fickeysstraße 1–11

Buchbesprechungen

DK 62 (021) (048.1)

„Hütte“, Des Ingenieurs Taschenbuch, Maschinenbau, Teil B (Hütte II B). Herausgeber Akademischer Verein Hütte e. V. Berlin. 28. Auflage, 928 Seiten mit 1317 Abb. und 204 Tafeln. Berlin-Wilmersdorf: Wilhelm Ernst & Sohn. Geb. DM 48,—, Ganzleinen DM 60,—.

Gegenüber zwei Bänden um die Jahrhundertwende soll nun das Taschenbuch des Ingenieurs in der 28. Auflage 11 Bände (mit den Unterteilungen von Maschinenbau, Elektrotechnik und Verkehrstechnik) umfassen. Darin kommt jedoch nicht nur der Fortschritt der Technik zum Ausdruck, sondern auch das Bestreben, den Inhalt der Sachgebiete zu vertiefen, die zum Teil weitgehend überarbeitet wurden, zum Teil neu dazukamen. Diesem Bestreben dienen auch die nunmehr aufgenommenen Schrifttumshinweise, die den Gebrauchswert des Handbuches steigern, ohne seinen Umfang noch zu vergrößern.

Während der 1954 erschienene Band IIA im wesentlichen die klassischen Gebiete des Maschinenbaues beinhaltet, behandelt der nun vorliegende Band IIB mehr Sachgebiete jüngerer Datums der Entwicklung. Er umfaßt den Leichtbau im Maschinenbau, den Behälterbau und aus der Landwirtschaftstechnik das begrenzte Gebiet der Acker-schlepper. Die Behandlung des neu gestalteten Kapitels Kältetechnik erfolgt ausführlich in den Abschnitten Grundlagen, Groß- und Kleinkälteanlagen und Klimatechnik. Der Abschnitt Förder- und Lagertechnik behandelt alle stetig und unstetig arbeitenden Geräte einschließlich der Hilfsmittel des Tagbaubetriebs und Lagerungsfragen eingehender als früher, ebenso wie die Getriebebewegungslehre in Systematik, Statik, Geometrie und Dynamik stark erweitert erscheint. Das Kapitel Feinmechanik erfuhr eine Ausgestaltung, die den Bedürfnissen des beginnenden Zeitalters der Automation gerecht zu werden sucht.

Der neue Band wird, mehr denn je, zum täglich benötigten Werkzeug des Ingenieurs gehören.

J. BILICH

DK 62 (091) (048.1)

Blätter für Technikgeschichte. Heft 21. 11 Abb., 8 Farbb., 82 Seiten. Schriftleitung J. NAGLER. Technisches Museum für Industrie und Gewerbe in Wien. Forschungsinstitut für Technikgeschichte. In Kommission: Wien: Springer-Verlag. 1959. S 60,—, DM 10,—, sfr. 10,20, \$ 2,40, £ -/17/-.

Es werden darin das Post- und Telegraphenmuseum im Technischen Museum für Industrie und Gewerbe, sein Werdegang und seine Einrichtungen beschrieben. Es wird der Erfinder gedacht, die den Verbrennungsmotor schufen, darunter des Tirolers CHRISTIAN REITHMANN. Es werden die Verdienste der Familie PFANHAUSER an der österreichischen galvanotechnischen Industrie geschildert. Ing. A. NEDOLUHA beschließt seine „Kulturgeschichte des technischen Zeichnens“. Eine ausführliche „Technikgeschichtliche Bücherschau“ weist auf die einschlägige Literatur hin. Ein Verzeichnis der „Gedenktage der österreichischen Technikgeschichte im Jahre 1960“ bringt u. a. in Erinnerung, daß sich am 27. Oktober 1960 zum hundertsten Mal der Tag jährt, an welchem CARL HOCHENEGG, der Begründer des Elektrotechnischen Institutes, geboren wurde.

Das 21. Heft reiht sich würdig an die vorangegangenen Hefte, die die Marksteine in der Geschichte der Technik festhalten.

E. KÖNIGSHOFER

DK 621.312/.314.004.6 (048.1)

Krankheiten elektrischer Maschinen, Transformatoren und Apparate. Ursachen und Folgen, Behebung und Verhütung. Bearbeitet von zahlreichen Fachleuten, herausgegeben von Prof. ROBERT SPIESER unter Mitarbeit von Dipl.-Phys. FRITZ GRÜTTER. 2. neubearbeitete Auflage,

XV und 376 Seiten mit 264 Abbildungen. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1960. Geb. DM 48,—.

Im Vorwort des Buches, das nunmehr in einer Neubearbeiteten zweiten Auflage vorliegt — die erste erschien im Jahre 1932 —, findet sich folgende Bemerkung des Herausgebers: „Heute, mehr als vor 25 Jahren, erblicke ich in der Übertragung der Erfahrung der älteren, bewährten Praktiker-Elite auf die jüngere Nachwuchsgeneration eine dringliche Aufgabe der Instruktion und Publizistik.“ Der Berichterstatter kann vorweg bestätigen, daß das Buch diesem Leitgedanken in ganz ausgezeichnete Weise gerecht wird. Es vermittelt speziell dem jüngeren Elektrotechniker jene praktischen Erfahrungen, die sich, günstige Umstände vorausgesetzt, ein junger Diplom-Ingenieur im Prüffeld und in der Montageabteilung einer erstklassigen Großfirma in den ersten Jahren seiner Praxis erwerben kann. Die einzelnen Mitarbeiter des Buches sind durchweg erste Fachleute der einschlägigen, hauptsächlich schweizer Großfirmen; dem Herausgeber ist es gelungen, trotzdem eine durchaus einheitliche Gestaltung des Inhaltes des Buches zu erreichen.

Der Inhalt des Buches gliedert sich in folgende Abschnitte: Teil I, Krankheiten elektrischer Maschinen (Übererwärmung, Wicklungsschäden und -fehler, Fehler im Eisen, an Bürsten, Schleifringen und Kommutatoren, unruhiger Lauf, Erschütterungen und Schwingungen, wobei besonders das Auswuchten ausführlich gebracht wird, Lagerschäden, Störungen im Leerlauf, Einzel- und Parallelbetrieb bei Generatoren, Störungen bei Einankerumformern, im Anlauf und Betrieb bei Motoren, Brandschutz, Wartung und Reinigung), zusammen 193 Seiten; Teil II, Krankheiten der Transformatoren (Allgemeines, Erwärmung, Eisenkern, Isolation, flüssige Isoliermittel, Kühlungssysteme, schließlich Drosselspulen), zusammen 48 Seiten; Teil III, Krankheiten elektrischer Apparate (Allgemeines, Schalter, Meßinstrumente und Meßwandler, Anlasser und Regler, Schutzrelais, Schutzsysteme, Anlaßeinrichtungen, Regeleinrichtungen, Auslösesysteme für Schalter und schließlich Richtlinien für das Arbeiten an elektrischen Anlagen) mit zusammen 129 Seiten.

Trotz des weitgesteckten Inhaltes des Buches haben die Verfasser in den einzelnen Abschnitten das Wesentliche in klarer und prägnanter Form herausgearbeitet. Gut gewählte Abbildungen tragen hierzu noch weitgehend bei. Wie bereits erwähnt, liegt der Wert des Buches in der technisch-wissenschaftlich einwandfreien Wiedergabe von praktischen Betriebserfahrungen, die in der sonst meist einseitig theoretisch ausgerichteten Fachliteratur nur gelegentlich und unvollständig zu finden sind. Es wird besonders für jüngere Kollegen, die im Prüffeld tätig sind oder die mit der Inbetriebsetzung und dem Betrieb von Starkstromanlagen zu tun haben, in Frage kommen und sollte in keiner einschlägigen Handbücherei fehlen.

R. STIX

DK 621.831-181.4 = 2 (048.1)

Gears for Small Mechanisms. Von W. O. DAVIS. Illustrationen von E. A. AYRES. 157 S., 76 Abb., 10 Taf. London, W. 6: N. A. G. Press Ltd. 1953.

Das vorliegende Buch behandelt die Zahnräder für kleine Triebwerke, die in der Uhren- und Instrumentenindustrie verwendet werden. Ein Mann der Praxis hat hier seine einzigartigen Kenntnisse auf diesem Gebiete, die er sich durch seine langjährige Tätigkeit, seine Experimente und theoretischen Überlegungen angeeignet hat, der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Meines Erachtens gibt es kein anderes Buch, das dieses Gebiet in so umfassender Weise darlegt.

Ausgehend von der Theorie der Zahnräder, der Praxis des Entwurfes sehr kleiner Zahnräder, behandelt der Verfasser die Reibung, den Wirkungsgrad der Zahnbewegung, den Entwurf von Werkzeugen zum Fräsen, Stanzen, Pres-

sen, Hobeln u. dgl. von Getriebezähnen, die Erzeugung und Prüfung von Zahnrädern für Taschenuhren, Schlagwerk-uhren, Anzeiginstrumente, Registrierinstrumente, automatische Kontrollmechanismen und ähnliche Behelfe. Der Verfasser beantwortet auch die interessante Frage, warum die Evolvente bei so kleinen Zahnrädern unbrauchbar ist. Wäre dieses Buch früher erschienen, dann hätte sich der Zahnradspezialist die Enttäuschung ersparen können, welcher vor nicht allzu langer Zeit versuchte, Evolventenzahnräder für Weckeruhren zu verwenden, die sich nachher als unbrauchbar erwiesen haben. Dieser Glaube an die Evolvente findet vielleicht darin seine Erklärung, daß die Praxis, von einigen Sonderfällen abgesehen, ausschließlich Evolventenverzahnung verwendet, obwohl die Frage, ob Evolventen- oder Zykloidenverzahnung vorzuziehen ist, in der älteren Literatur vielfach erörtert und aus theoretischen Gründen meist zugunsten der Zykloidenverzahnung entschieden wurde.

Die wertvollen Hinweise und Ratschläge werden noch ergänzt durch die Standardformen und ihre Abmessungen. Konstrukteuren, Fabrikanten und Verbrauchern von Zahnrädern kleiner Triebwerke wird dieses Buch wertvolle Dienste leisten.

K. BAUER

DK 621.83.062.1 (048.1)

Stufenlos verstellbare mechanische Getriebe. Von F. W. SIMONIS. Zweite, erweiterte Auflage. 190 Seiten mit 252 Abb. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1959. Ganzleinen DM 29,40.

Die stufenlos verstellbaren Getriebe, für die zahlreichen Maschinen der verschiedensten Industrien, haben einen derartigen Umfang angenommen, daß es der Autor unternommen hat, in dem vorliegenden Buch, das eine Gebiet der stufenlos verstellbaren mechanischen Getriebe zu behandeln, nachdem über die stufenlos verstellbaren hydraulischen Getriebe unterdessen ein erschöpfendes Werk von KRUG erschienen ist.

Das vorliegende Buch stellt die zweite, völlig Neubearbeitete und erweiterte Auflage des in der ersten Auflage erschienenen Werkstattbuches Heft 96 dar und bringt in umfassender Zusammenstellung etwa 80 Getriebe in 252 Abbildungen vorzüglichster Ausstattung.

Der Autor bewältigt die Erklärung der komplizierten Funktionen der meist sehr schwierigen Getriebekonstruktionen durch seine klare und auf das Wesentliche gerichtete Ausdrucksweise, ein Vorzug, der in technischen Erläuterungen oft vermißt wird.

Dadurch ist diese vorliegende umfassende Übersicht über die in zwölf Hauptgruppen zusammengefaßten stufenlos verstellbaren Reib-, Rollen-, Umhüllungs-, Umschlingungs-, Schaltwerks- und Zahnradgetriebe vorzüglich geeignet, dem Konstrukteur, dem Betriebsmann und dem Studierenden wertvolle Dienste zu leisten.

Die gewohnt sorgfältige Ausstattung des Werkes durch den Springer-Verlag macht das Studium dieses schönen Buches zur Freude.

F. KUBA

DK 621.792 (048.1)

Metallkleben. Einführung in das Gebiet der Metallklebtechnik, bearbeitet vom Handwerkstechnischen Institut, Wien, unter Mitwirkung von Prof. Dr. GEORG WAGNER, Technische Hochschule, Wien. Wien: Verlag Handwerkstechnisches Institut. 1960. S 18,—.

Die 38 Seiten umfassende Broschüre behandelt in kurzer allgemein verständlicher Form die Probleme, die sich bei der Verklebung von Metallen ergeben. Es werden die Vor- und Nachteile der Metallklebung gegenüber den klas-

sischen Methoden der Metallverbindung erörtert, wobei insbesondere auf klebegerechte Gestaltung der Teile und der Klebefugen Wert gelegt wird. Eine Übersicht über die im Handel befindlichen Klebstoffe und eine allgemein gehaltene Beschreibung der beim Kleben vor sich gehenden chemischen und physikalischen Vorgänge sowie eine Erörterung des Verhaltens der Klebeverbindungen gegen mechanische, thermische, elektrische, chemische und Witterungseinflüsse folgt. Das Kapitel über die Verarbeitung der Metallkleber mußte notwendigerweise sehr allgemein gehalten werden, da die Arbeitsweise je nach der Art des verwendeten Klebers, der Art des Metalls und der Größe der zu verklebenden Teile verschieden ist; die detaillierten Angaben über die Verarbeitung der Klebstoffe müssen den technischen Prospektblättern der Erzeugerfirmen entnommen werden. Das Heftchen hat aber dasjenige, was zum Verständnis dieser neuartigen Verbindungsmethoden notwendig ist, in sehr prägnanter Weise zusammengefaßt und diejenigen Momente, die für alle Metallkleber ohne Rücksicht auf ihre chemische Natur gelten, begrifflich und auch drucktechnisch entsprechend hervorgehoben. Darin liegt in erster Linie sein Wert und deshalb wird es als erste Einführung allen willkommen sein, die sich mit diesem Problem praktisch zu befassen gedenken.

R. REICHHERZER

DK 621.38 : 615.849.5 = 2 (048.1)

Medical Electronics. Proceedings of the Second International Conference, Paris 1959. Herausgegeben von C. N. SMYTH. 614 S. und 400 Abb. London: Iliffe & Sons Ltd. 1960. Preis 145 s. net (bei Versand 147 s.).

Nach einer organisatorischen Zwecken dienenden Gründungsversammlung im Jahr 1958 wird jährlich ein Internationaler Kongreß für Medizinische Elektronik abgehalten (1959 Paris, 1960 London, 1961 New York). Zweck dieser Veranstaltung ist eine Verbesserung des Kontaktes zwischen Elektrotechnikern und Ärzten auf dem Gebiet der medizinischen Methodologie, das in zunehmendem Maße von der Elektronik beherrscht wird. Der vorliegende Band enthält die Berichte über den zweiten Kongreß (1959), wobei die Ergebnisse von 144 Arbeiten (80 in ausführlicher, die übrigen in zusammengefaßter Form) veröffentlicht werden. Während in dem Abschnitt über elektrophysiologische Methoden vor allem Beiträge zur Elektro-Okulographie (Registrierung der Augenbewegungen) sowie zur Elektromyographie enthalten sind und verschiedene Fragen der in der Grundlagenforschung verwendeten Mikroelektroden- und Reiztechnik behandelt werden, steht in dem Abschnitt über Elektrenzephalographie die Analyse der komplexen Hirnströme mittels elektronischer Rechengерäte im Vordergrund. Die dem Kreislauf gewidmeten Arbeiten betreffen in erster Linie die Registrierung des fötalen Elektrokardiogramms in der Geburtshilfe. In der Elektromanometrie wird versucht, mit Hilfe verschluckbarer Radiosonden Messungen im Verdauungskanal durchzuführen. Im Kapitel Akustik überwiegt trotz seiner sinkenden praktisch-medizinischen Bedeutung noch immer der Ultraschall, während das für die Ohrenheilkunde wichtige Gebiet der Audiometrie überraschenderweise in keiner Arbeit behandelt wird. Besondere Beachtung verdient der Abschnitt über Automation in der Medizin, wo in zahlreichen Arbeiten auf die vielfach noch ungenutzten Möglichkeiten hingewiesen wird, welche die elektronischen Rechengерäte bei der Verarbeitung medizinischer Forschungsergebnisse und bei der Diagnostik bieten. Das Kapitel Strahlenmedizin behandelt vor allem Beiträge zu einer quantitativen Auswertung von Röntgenbefunden, während der Isotopentechnik nur wenige Arbeiten gewidmet sind. Den Abschluß bilden einige Arbeiten, welche die Anwendung elektronischer Geräte in der Biochemie betreffen. Wenn das vorliegende Ma-

terial nicht als repräsentativer Querschnitt durch die tatsächlich geleisteten Forschungsarbeiten gelten kann, so liegt dies wohl daran, daß die Veranstaltung der erste und noch nicht vollständig gelungene Versuch war, alle beteiligten Fachleute auf breiter Basis in Kontakt zu bringen. Es wurde jedoch ein vielversprechender Anfang gemacht. Das vorzüglich ausgestattete und mit 400 Abbildungen versehene Buch ist jedem Techniker und Arzt zu empfehlen, der sich für die Anwendung elektrotechnischer Methoden in der medizinischen Diagnostik interessiert.

H. BORNSCHEIN

DK 678.5/8 (048.1)

Kunststoff-Taschenbuch. Von Dr. HANSJÜRGEN SAECHTLING, Frankfurt/M., und Dipl.-Ing. WILLI ZEBROWSKI, Troisdorf. Begründet von Dr. F. PABST. 14., völlig überarbeitete und erweiterte Ausgabe. 487 Seiten mit 52 Abbildungen und zahlreichen Tabellen. München: Carl Hanser Verlag. 1959. In Mipolam gebunden DM 16,—.

Der 13., in E und M, 75. Jg. (1958), S. 506, besprochene Ausgabe dieses seit 1936 bestehenden Taschenbuches ist im Abstand von zwei Jahren eine wesentlich erweiterte und wieder auf den allerneuesten Stand der Wissenschaft gebrachte 14. Ausgabe gefolgt. Die unerhört rasche Entwicklung des Fachgebietes Kunststoffe und der lobenswerten Ehrgeiz der Verfasser, ihr Handbuch immer „up to date“ zu halten und nicht zuletzt die großen Verkaufserfolge bedingen diese raschen Auflagenfolgen.

Über den ausgezeichneten systematischen Aufbau dieses Taschenbuches ist kaum mehr ein Wort zu verlieren; es soll nur erwähnt werden, daß außer Inhalts- und Sachverzeichnis noch zwei Tabellen mit Eingängen nach Stoff- und Lieferform die Orientierung in der Fülle des Gebotenen erleichtern.

Besonders das 3. Kapitel über die Verarbeitungsverfahren von Kunststoffen, also über Polymerisation, Schleuderguß, Spritzgießen und Strangpressen bis zum Formen und Schweißen wurde wesentlich erweitert.

Auch im 4. Kapitel über die Beschreibung der Kunststoffe wurden neue Materialien, wie z. B. Polypropylen, Polycarbonat usw. neu aufgenommen.

Im 5. Kapitel wurden Kunststoffgrenzgebiete behandelt, die das gewonnene Bild in angenehmer Weise abrunden.

Die Abschnitte über Typisierung und Normung sowie die Prüfung wurden ebenfalls auf den neuesten Stand gebracht. Das Handelsnamenverzeichnis, das den 8. und letzten Abschnitt bildet, ist völlig neu bearbeitet.

Abschließend kann nur der letzte Satz aus der Besprechung der 13. Auflage wiederholt werden, der auch für die 14. Auflage seine volle Berechtigung behält: „Jedem, der mit Kunststoffen zu tun hat, kann man im eigenen Interesse nur empfehlen, dieses vorzügliche Buch möglichst oft zu Rate zu ziehen, da er es nie ohne Gewinn und Bereicherung seines Wissens aus der Hand legen wird.“

F. SMOLA

DK 541.135.27 : 621.357.3(048.1)

Nova Acta Leopoldina, Nr. 132, Band 19. Die Adsorption von organischen Verbindungen an der Trennungsfläche Metall/Elektrolytlösung und ihre Einwirkung auf elektrochemische Vorgänge. Von A. W. TRUMKIN. 19 S. mit 11 Abb. Leipzig: Johann Ambrosius Barth. 1957.

An der Trennungsfläche Metall/Elektrolyt wurden schon viele organische Verbindungen adsorbiert. Solche Schichten beeinflussen elektrochemische und Korrosions-Vorgänge. Bei

der Adsorption aus Lösungen aliphatischer Säuren und Alkohole entstehen an der Trennfläche Quecksilber/Lösung polymolekulare Schichten, die sonst nicht beobachtet werden. Sie entstehen durch Wechselwirkung zwischen den positiven Ladungen der Metalloberfläche und den pi-Elektronen des organischen Moleküls.

Die Beeinflussungen elektrochemischer Vorgänge durch adsorbierte organische Verbindungen werden in verschiedener Hinsicht untersucht.

F. BAYER

DK 546.832 (048.1)

Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Auflage. System Nr. 43: Hafnium. Ergänzungsband 1958. 23 Seiten, 1 Fig. Weinheim/Bergstraße: Verlag Chemie GmbH, 1958. Kart. DM 17,—, Ganzleinen DM 22,—.

Dieser Ergänzungsband zum 1941 erschienenen Band 43 des Gmelin Handbuches behandelt die Literatur über Hafnium bis 1949. Nach einer Einleitung mit neuen Untersuchungsergebnissen über das Vorkommen des Hafniums und die geochemische Grundlage seines Auftretens in der Lithosphäre findet sich im Abschnitt Gewinnung eine sehr brauchbare Zusammenstellung der bis 1949 bekannten Verfahren zur Zr- und Hf-Trennung, die einerseits für die Erweiterung des Anwendungsbereiches des Zr beitrugen, andererseits aber die Darstellung von Hafnium in großem Umfange erst ermöglichten. Neben den Trennverfahren durch fraktionierte Fällung werden vor allem Solventextraktion, Ionenaustausch und die Destillation der Halogenide angeführt.

Der Abschnitt über Verwendung des Hafniums müßte ebenfalls neuerdings auf Grund der besonderen nuklearen Eigenschaften erweitert werden. Für theoretische Untersuchungen sowie für spektroskopische Arbeiten mit Hafnium werden die unter physikalischen Eigenschaften zusammengestellten Informationen von hohem Wert sein, sowie auch die Angaben über das chemische Verhalten für analytische Arbeiten wichtig sind. Die relativ geringe Bedeutung, die dieses Element in der Technik bisher erlangte, findet seinen Niederschlag in der Zahl der geringen Arbeiten, die sich mit seinen Verbindungen befaßt.

H. BILDSTEIN

DK 744:930.85 (048.1)

Kulturgeschichte des technischen Zeichnens. Von A. NEDOLUHA. Mit 136 Abb. und 201 Seiten, 6 Farbbabb. und 4 Tafeln. Wien: Springer-Verlag. 1960. Ganzleinen S 150,—, DM 25,—, sfr. 25,60, \$ 5,95, £ 2/2/6.

Wenn man sagt, jedes Baugeschehen sei das Spiegelbild der Geisteshaltung, auch der wirtschaftlichen Struktur seiner Zeit, so versucht der Autor, die Grundlage jedweden Baugeschehens, die Zeichnung — worauf, wie und womit sie gemacht wird und wie sie vervielfältigt werden kann —, mit den einzelnen Stadien der kulturgeschichtlichen Entwicklung in Beziehung zu setzen.

Und er führt uns solcherart in die Geschichte der Zeichenstoffe — des Papyrus, des Pergaments, des Papiers und der pausfähigen Stoffe — und der Zeichenbehelfe und -geräte ein, vom Bleistift über die Reißfeder, die Tusche und das Zeichenbrett bis zur Zeichenmaschine. Dann spricht er über die verschiedenen geometrischen Darstellungsverfahren und, auf diesen beruhend, die geschichtliche Entwicklung des technischen Zeichnens, von der Eiszeit — die gemalte

oder geritzte Einrißzeichnung — über die Antike, die einen großen Fortschritt auf dem Gebiet des Bauzeichnens bringt, das finstere Mittelalter, gekennzeichnet durch Uneinheitlichkeit und Regellosigkeit in der Darstellung, die Renaissance, welche die wissenschaftliche Bearbeitung der Perspektive und ihre praktische Anwendung auch in der Anfertigung von technischen Zeichnungen bringt, bis zur technischen Zeichnung des 19. und 20. Jahrhunderts, die durch die Anwendung der Parallelprojektion gekennzeichnet ist, und wir werden mit einer Fülle von europäischen Persönlichkeiten bekannt gemacht, die auf dem Wege dieser Entwicklung standen und diese Entwicklung maßgebend beeinflusst haben.

Ein eigener Abschnitt ist der Beschriftung der Zeichnung gewidmet, von der Schrift des Mittelalters über verschiedene Hand- und Schablonenschriften bis zur Normschrift und den zugehörigen Schreibgeräten.

Ein breiter Raum ist der Vervielfältigung der Zeichnung gewidmet, von der mechanischen Vervielfältigung über die verschiedenen Lichtpausverfahren, die Vervielfältigungsverfahren durch Photokopie, durch Wachsschablone, bis zu den lithographischen Verfahren. Auch hier werden wir mit den Männern bekannt gemacht, deren Namen mit den einzelnen Verfahren verbunden sind.

Ein Kapitel über Maßeinheiten und Meßgeräte führt uns in die Maßeintragung auf der Zeichnung und die Kontrolle der Maße während und nach der Fertigung ein, und schließlich wird die europäische Zeichnung der amerikanischen Zeichnung gegenübergestellt und die charakteristischen Merkmale der technischen Zeichnung von heute in den wichtigsten europäischen Staaten und in den UdSSR werden besprochen.

Ein Kapitel über neue Aufgaben der technischen Zeichnung und die neuesten mechanischen und elektronischen Methoden der Übertragung der Zeichnung auf das Werkstück sowie eine sehr interessante Zeittafel, vom 12. Jahrhundert bis zum heutigen Tage, die vor allem auch den hohen österreichischen Anteil an der Entwicklung des technischen Zeichnens zeigt, ein reichhaltiger Literatur- und Bildnachweis, ein Personen- und Sachverzeichnis beschließen das Buch.

Wenn der Autor im Vorwort sagt, daß das Buch durch eine besondere Vorliebe für das technische Zeichnen und durch die Beschäftigung mit der Technikgeschichte entstanden ist, dann kommt diese Liebe durch die Sorgfalt und Vollständigkeit der Darstellung in jedem einzelnen Kapitel zum Ausdruck.

Und es ist nicht nur die Entwicklung des technischen Zeichnens von seinem Ursprung bis zum heutigen Tage, die da beschrieben wird, sondern es wird auch allen geschichtlichen Ereignissen, die mit dieser Entwicklung in Zusammenhang stehen, ein breiter Raum gewidmet, es ist also wirklich eine Kulturgeschichte des technischen Zeichnens. Ihre Lektüre sei allen jenen — Lehrenden wie Lernenden — besonders empfohlen, die im technischen Zeichnen mehr sehen wollen als eine rein mechanische Angelegenheit, die ohnedies genormt ist und über die man daher weiter nicht mehr nachzudenken braucht.

E. BECKER

Anschriften der Verfasser der Aufsätze dieses Heftes:

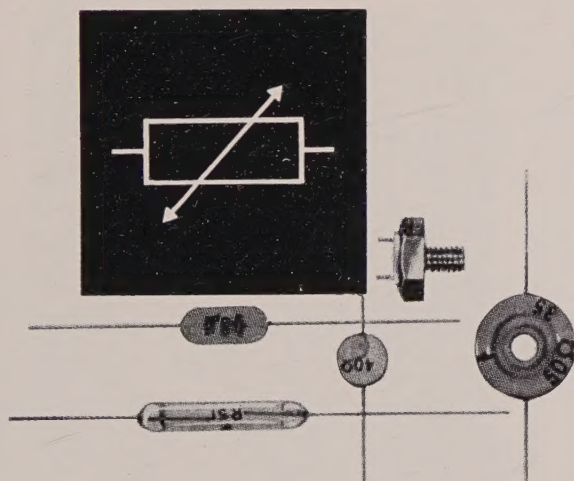
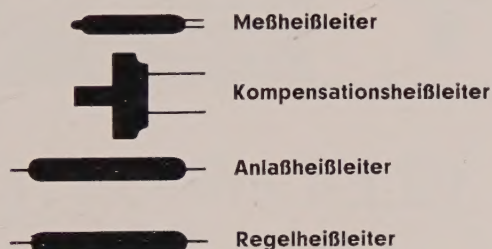
Ing. Gerd Prade, c/o E. Schrack EAG, Wien XII, Pottendorferstraße 25/27.

Dipl.-Ing. A. Kroms, 30 Rockland Avenue, Malden 48, Mass., USA.

SIEMENS **HALBLEITER**

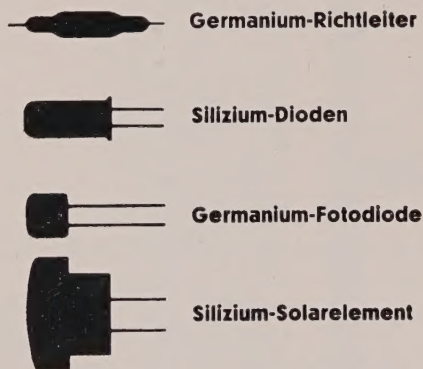
Siemens-Heißeleiter **THERNEWID**

In der modernen Elektronik werden Siemens-Heißeleiter in zunehmendem Maße verwendet. In Transistorschaltungen von Rundfunkgeräten und kommerziellen Verstärkern bildet der THERNEWID ein wichtiges Stabilisierungselement. Aber auch für viele andere Anwendungsgebiete, z. B. für die Meß- und Regelungstechnik, für Steuerschaltungen und für Relaisverzögerung halten wir passende Typen bereit:



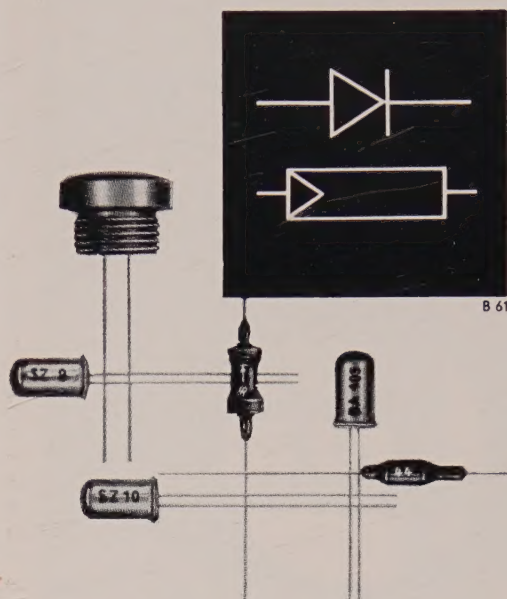
Für jeden Zweck **Siemens-Dioden**

Ob für kommerzielle Anwendungen oder für die Rundfunk- und Fernsehindustrie – zu jedem Anwendungsfall finden Sie in unserem umfassenden Lieferprogramm die geeignete Diode.

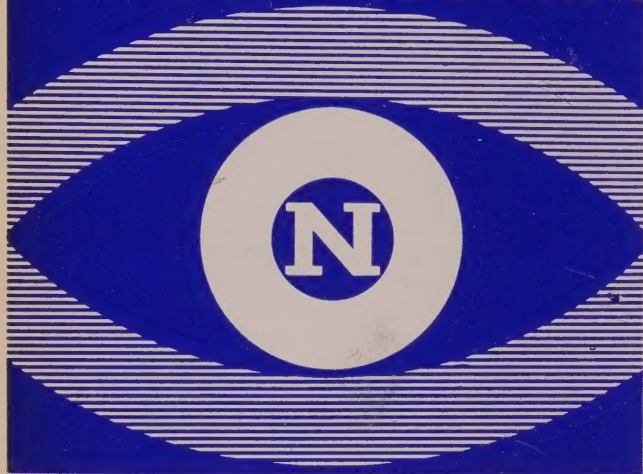


SIEMENS & HALSKE GESELLSCHAFT M. B. H.
WIENER SCHWACHSTROM WERKE

Generalvertretung der
SIEMENS & HALSKE A. G.
 BERLIN – MÜNCHEN FÜR ÖSTERREICH



Im Blickpunkt der Messtechnik



PRÄZISIONSMESSGERÄTE

LINIENSCHREIBER

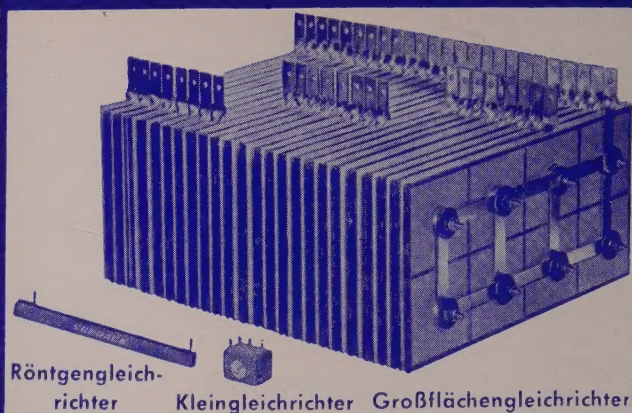
SCHALTAFELINSTRUMENTE

ELEKTRONISCHE MESSGERÄTE

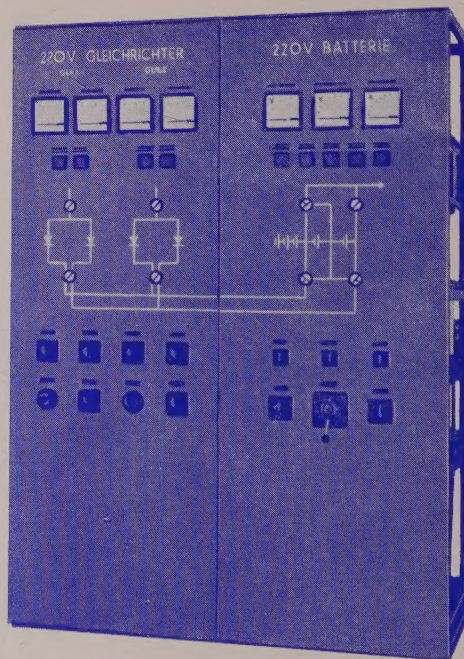
BELICHTUNGSREGLER

AUSSTEUERUNGSINDIKATOREN

Fabrik elektrischer
Meßgeräte Ges. m. b. H.
Wien XI/79, Österreich
Fickeysstraße 1-11



GLEICHRICHTER



Ladeanlage für Stationsbatterie

SCHRACK

237

E Schrack, Wien XII, Pottendorferstr. 25 27, Tel.: 54 36 11